



Esta obra está bajo una [Licencia  
Creative Commons Atribución-  
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A**  
**NIVEL DE PREGRADO 2018**



**Obtención de un agente espesante a partir de la pulpa de cacao, (*Theobroma cacao* L.), utilizando el método de liofilización**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial**

**AUTOR:**

**Betzi Emperatriz Tocto Cano**

**ASESOR:**

**Ing. Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge**

**COASESOR:**

**Ing. Roxana Trujillo Valderrama**

**Tarapoto – Perú**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A**  
**NIVEL DE PREGRADO 2018**



**Obtención de un agente espesante a partir de la pulpa de cacao, (*Theobroma cacao* L.), utilizando el método de liofilización.**

**AUTOR:**

**Betzi Emperatriz Tocto Cano**

**Sustentado y aprobado el 23 de noviembre 2019, por los siguientes jurados:**

.....  
**Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**

**Presidente**

.....  
**Ing. Dr. Anita Ruth Mendiola Cespedes**

**Miembro**

.....  
**Ing. Dr. Thony Arce Saavedra**

**Secretario**

.....  
**Ing. Dr. Manuel F. Coronado Jorge**

**Asesor**

## Declaratoria de autenticidad

Yo **Betzi Emperatriz Tocto Cano**, con DNI N° 75659022, bachiller de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **“Obtención de un agente espesante a partir de la pulpa de cacao, (*Theobroma cacao* L.), utilizando el método de liofilización”**;

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De identificarse que el trabajo cuenta con la falta de fraude (datos falsos), plagio (información sin citar a autores), autoplagio (presentar como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (presentar ideas de otros), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 23 de noviembre del 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Betzi Tocto'.

**Betzi Emperatriz Tocto Cano**

**DNI: 75659022**



**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: <i>Tecto Cano Beto Emperatriz</i>	
Código de alumno : <i>75659022</i>	Teléfono: <i>966949033</i>
Correo electrónico : <i>betotecto@gmail.com</i>	DNI: <i>75659022</i>

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: <i>Ingeniería Agroindustrial</i>
Escuela Profesional de: <i>Ingeniería Agroindustrial</i>

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	( <input checked="" type="checkbox"/> )	Trabajo de investigación	( <input type="checkbox"/> )
Trabajo de suficiencia profesional	( <input type="checkbox"/> )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título : <i>Obtención de un agente espesante a partir de la pulpa de Cacao, (Theobroma Cacao L.), utilizando el método de lixiviación.</i>
Año de publicación: <i>2019</i>

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	( <input checked="" type="checkbox"/> )	Embargo	( <input type="checkbox"/> )
Acceso restringido **	( <input type="checkbox"/> )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**

Firma y huella del Autor

## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

05 / 10 / 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.  
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e  
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea  
Responsable

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **Dedicatoria**

A Dios por iluminar mi camino, por ser tan generoso y darme una maravillosa familia, una vida llena de retos y obstáculos, brindándome siempre las fuerzas que necesité para seguir adelante.

A mis amados padres José Nilser Tocto Laban y Maura Cano Ticliahuanca, por los buenos valores inculcados y esfuerzo mutuo, tras un arduo trabajo, por apoyarme en todo lo que necesité, para poder brindarme una muy buena educación, y sobre todo por enseñarme a luchar y nunca rendirme.

A mi hermano Guilman Denis Tocto Cano, por su apoyo incondicional y estar siempre a mi lado bríndame mucho cariño, consejos y sobre todo por creer en mí.

**Betzi Emperatriz.**

## **Agradecimientos**

A Dios por guiarme durante todo el trayecto de mi proyecto de investigación y por poder culminar mi trabajo de tesis.

A mis padres, mi hermano y a mis amigos: Isaac David Peña Pezo, Gilmer Romero Cunias, Patrick Obregón García, Mauricio Montenegro Rojas y Oscar Délix Zamora, por su apoyo incondicional durante la ejecución de mi tesis.

A la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis en sus laboratorios que tiene la Facultad de Ingeniería Agroindustrial.

A Dolly Flores Dávila, Guido Saavedra Vela e Ing. Richer Garay Montes, encargados de los laboratorios, por brindarme todas las facilidades para tener a mi alcance los materiales que necesite.

Al Ing. José David Contreras Monjarás y a la Ing. Roxana Trujillo Valderrama, por apoyarme en la formulación de mi tema de investigación.

Al Ing. Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge, por su orientación durante el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Al Instituto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de San Martín, por el financiamiento otorgado al presente trabajo de investigación.

**El Autor.**



## Índice general

Introducción.....	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. Antecedentes de la investigación .....	3
1.2. Bases teóricas.....	5
1.2.1. La liofilización .....	5
1.2.2. Etapas de liofilización.....	6
1.2.2.1. Congelación .....	7
1.2.2.2. Sublimación (deshidratación primaria) .....	9
1.2.2.3. Desorción (deshidratación secundaria) .....	9
1.2.3. Fases de liofilización.....	12
1.2.4. Ventajas y desventajas de la liofilización .....	14
1.2.5. La Materia Prima: Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) .....	15
1.2.5.1. Clasificación taxonómica.....	15
1.2.5.2. Morfología del fruto del cacao.....	15
1.2.5.3. Variedades de cacao.....	17
1.2.5.4. Composición química de la mazorca del cacao .....	18
1.2.6. Hidrocoloides .....	21
1.2.6.1. Gelificantes, espesantes y estabilizantes .....	21
1.2.6.2. Agentes espesantes.....	22
1.2.7. Vitamina A.....	24
1.2.7.1. Deficiencia de Vitamina A.....	26
1.2.8. Vitamina C .....	26
1.2.8.1. Fuentes principales.....	27
CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS .....	28
2.1. Lugar de ejecución.....	28

2.2. Materia prima.....	28
2.3. Equipos y materiales .....	28
2.3.1. Equipos .....	28
2.3.2. Materiales.....	29
2.3.3. Reactivos.....	29
2.4. Métodos.....	30
2.4.1. Métodos de análisis.....	30
2.4.1.1. Determinación de humedad .....	30
2.4.1.2. Determinación de color.....	31
2.4.1.3. Determinación de sólidos solubles (°Brix) .....	31
2.4.1.4. Determinación del porcentaje de acidez .....	32
2.4.1.5. Determinación de Vitamina C.....	32
2.4.1.6. Determinación de proteína total.....	34
2.4.1.7. Determinación de grasa total.....	34
2.4.1.8. Determinación de ceniza total.....	34
2.4.1.9. Determinación de fibra total .....	35
2.4.1.10. Determinación de carbohidratos .....	35
2.4.2. Obtención del agente espesante .....	35
2.4.2.1. Descripción del proceso.....	36
2.5. Diseño experimental y análisis estadístico.....	42
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
3.1. Caracterización físico - química del fruto de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.).....	45
3.2. Rendimiento de pulpa del cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) .....	46
3.3. Secado por liofilización .....	47
3.3.1. Efecto de la presión del liofilizado, tiempo y temperatura de congelación .....	47
3.3.2. Velocidad de secado.....	48
3.4. Variación del color en el secado .....	50

3.5. Pérdida del contenido de vitamina C, durante el secado.....	59
3.6. Características fisicoquímicas del agente espesante (Pulpa de cacao liofilizada) en polvo de los tres mejores tratamientos.....	62
3.7. Evaluación sensorial del néctar de cocona, utilizando como espesante la pulpa de cacao liofilizada .....	66
CONCLUSIONES .....	68
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70
ANEXOS .....	77

## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Composición química de la cáscara de cacao.....	18
Tabla 2. Composición química de la pulpa de cacao.....	19
Tabla 3. Resultados del análisis físico-químico del exudado de cacao .....	19
Tabla 4. Composición nutritiva del grano de cacao .....	20
Tabla 5. Análisis físico-químico de la pectina obtenida de las cáscaras de cacao .....	20
Tabla 6. Funciones y aplicaciones de hidrocoloides en alimentos .....	21
Tabla 7. Tratamientos de estudio.....	43
Tabla 8. Matriz de combinación de tratamientos.....	43
Tabla 9. Caracterización de la pulpa de cacao fresca .....	45
Tabla 10. % Rendimiento de la pulpa de cacao .....	46
Tabla 11. Medidas de color de la pulpa de cacao liofilizada.....	51
Tabla 12. Medidas de color L*, a* y b* para los tres mejores tratamientos.....	56
Tabla 13. Contenido de vitamina C en la pulpa de cacao fresca y liofilizada .....	59
Tabla 14. Análisis proximal de la pulpa de cacao (Agente espesante).....	62
Tabla 15. Datos de la determinación de Vitamina C y medida de Color .....	77
Tabla 16. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de cacao fresca .....	79
Tabla 17. Estadísticos descriptivos .....	79
Tabla 18. Análisis de varianza (ANVA) para el componente L* (Luminosidad) de la pulpa de cacao liofilizada.....	80
Tabla 19. Comparación múltiple del efecto de la presión (mbar) en el componente L* (Luminosidad) promedios con la prueba de Tukey .....	80
Tabla 20. Comparación múltiple del efecto de la temperatura(°C) en el componente L* (Luminosidad) promedios con la prueba de Tukey .....	81
Tabla 21. Comparación múltiple del efecto del tiempo(h) en el componente L* (Luminosidad) promedios con la prueba de Tukey .....	81
Tabla 22. Análisis de varianza (ANVA) del parámetro de color a* de la pulpa de cacao liofilizada .....	82
Tabla 23. Comparación múltiple del efecto de la presión(mbar) del parámetro de color a* promedios con la prueba de Tukey .....	82

Tabla 24. Comparación múltiple del efecto de la temperatura(°C) del parámetro de color a* promedios con la prueba de Tukey .....	83
Tabla 25. Comparación múltiple del efecto del tiempo(h) del parámetro de color a* promedios con la prueba de Tukey.....	83
Tabla 26. Análisis de varianza (ANVA) del parámetro de color b* de la pulpa de cacao liofilizada.....	83
Tabla 27. Comparación múltiple del efecto de la presión(mbar) del parámetro de color b* promedios con la prueba de Tukey.....	84
Tabla 28. Comparación múltiple del efecto de la temperatura(°C) del parámetro de color b* promedios con la prueba de Tukey.....	84
Tabla 29. Comparación múltiple del efecto del tiempo(h) del parámetro de color b* promedios con la prueba de Tukey.....	85
Tabla 30. Parámetro de color L* de la pulpa de cacao liofilizada.....	85
Tabla 31. Análisis de Varianza (ANVA) en el componente L* (Luminosidad) de la pulpa de cacao liofilizada .....	86
Tabla 32. Parámetro de color a* de la pulpa de cacao liofilizada .....	86
Tabla 33. Análisis de Varianza (ANVA) del parámetro de color a* de la pulpa de cacao liofilizada.....	86
Tabla 34. Parámetro de color b* para la pulpa de cacao liofilizada .....	87
Tabla 35. Análisis de varianza (ANVA) del parámetro de color b* de la pulpa de cacao liofilizada.....	87
Tabla 36. Índice de color de la pulpa de cacao liofilizada.....	87
Tabla 37. Análisis de varianza (ANVA) para el índice de color de la pulpa de cacao liofilizada.....	88
Tabla 38. Contenido de Vitamina C de la pulpa de cacao liofilizada.....	88
Tabla 39. Análisis de varianza (ANVA) del contenido de Vitamina C de la pulpa de cacao liofilizada.....	88
Tabla 40. Media marginal estimada de la presión (mbar) .....	89
Tabla 41. Media marginal estimada de la temperatura (°C) .....	89
Tabla 42. Media marginal estimada del tiempo (h) .....	89
Tabla 43. Media marginal estimada para la presión(mbar) x temperatura(°C) .....	90
Tabla 44. Media marginal estimada para la presión(mbar) x tiempo(h) .....	90
Tabla 45. Media marginal estimada para temperatura (°C) x tiempo(h) .....	90
Tabla 46. Media marginal para presión(mbar) x temperatura(°C) x tiempo(h) .....	91



Tabla 47. Comparación múltiple del efecto de la presión (mbar) en el contenido de vitamina C, promedios con la prueba de Tukey .....	92
Tabla 48. Comparación múltiple del efecto de la temperatura (°C) en el contenido de vitamina C, promedios con la prueba de Tukey .....	92
Tabla 49. Comparación múltiple del efecto del tiempo(h) en el contenido de vitamina C promedios con la prueba de Tukey.....	93
Tabla 50. Porcentaje de humedad (%) de la pulpa de cacao liofilizada .....	93
Tabla 51. Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de humedad (%) de la pulpa de cacao liofilizada.....	93
Tabla 52. Porcentaje de ceniza (%) de pulpa de cacao liofilizada.....	94
Tabla 53. Análisis de varianza (ANVA) porcentaje de ceniza (%) de pulpa liofilizada ..	94
Tabla 54. Porcentaje de fibra (%) de pulpa de cacao liofilizada .....	94
Tabla 55. Análisis de varianza del porcentaje fibra (%) de pulpa de cacao liofilizada....	95
Tabla 56. Porcentaje de proteína de la pulpa (%) de cacao liofilizada.....	95
Tabla 57. Análisis de varianza del porcentaje de proteína (%) de la pulpa liofilizada.....	95
Tabla 58. Porcentaje de grasa (%) de la pulpa de cacao liofilizada .....	96
Tabla 59. Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de grasa (%) de la pulpa de cacao liofilizada.....	96
Tabla 60. Porcentaje de carbohidratos (%) de la pulpa de cacao liofilizada .....	96
Tabla 61. Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de carbohidratos (%) de la pulpa de cacao liofilizada .....	97
Tabla 62. Porcentaje de energía (%) de la pulpa de cacao liofilizada .....	97
Tabla 63. Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de energía (%) de la pulpa de cacao liofilizada.....	97
Tabla 64. Evaluación sensorial del néctar de cocona .....	98
Tabla 65. Análisis de varianza (ANVA) para el atributo de apariencia general del néctar de cocona .....	98
Tabla 66. Datos de humedades en base seca medias, y velocidades de secado de los veintisiete tratamientos .....	100

## Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama de fases del agua .....	5
Figura 2. Etapas de liofilización .....	6
Figura 3. Curva de congelación .....	8
Figura 4. Superficie de sublimación de hielo .....	10
Figura 5. Fases de la liofilización .....	13
Figura 6. Esquema de fruto y semilla de cacao .....	16
Figura 7. Estructura química de Vitamina A .....	25
Figura 8. Estructura molecular $\beta$ -caroteno .....	25
Figura 9. Estructura química del ácido ascórbico .....	27
Figura 10. Determinación del contenido de humedad de la pulpa fresca .....	30
Figura 11. Determinación de humedad del liofilizado .....	31
Figura 12. Determinación de color de la pulpa fresca .....	31
Figura 13. Determinación del contenido de Sólidos Solubles ( $^{\circ}$ Brix) de la pulpa de cacao .....	32
Figura 14. Determinación del porcentaje de acidez (%) .....	32
Figura 15. Determinación de Vitamina C de la pulpa fresca .....	33
Figura 16. Determinación de Vitamina C de la pulpa liofilizada .....	33
Figura 17. Determinación de proteína total .....	34
Figura 18. Determinación de grasa total .....	35
Figura 19. Determinación de ceniza total .....	35
Figura 20. Determinación de fibra total .....	35
Figura 21. Flujograma para la obtención de un espesante con la pulpa de la cáscara del cacao .....	36
Figura 22. Frutos de cacao variedad criollo .....	37
Figura 23. Corte longitudinal de los frutos de cacao variedad criollo .....	37
Figura 24. Pulpa diluida en solución de bisulfito al 0.05% .....	38
Figura 25. Pulpa de cacao homogenizada .....	38
Figura 26. Moldeado .....	39
Figura 27. Pulpa de cacao congelada .....	39
Figura 28. Proceso del liofilizado .....	40

Figura 29. Agente espesante de la pulpa de cacao.....	41
Figura 30. Agente espesante triturado .....	41
Figura 31. Evaluación sensorial del néctar de cocona.....	42
Figura 32. Cinética de pérdida de humedad para los veintisiete tratamientos.....	47
Figura 33. Cinética de pérdida de humedad en los tres mejores tratamientos.....	48
Figura 34. Velocidad de secado para los veintisiete tratamientos .....	49
Figura 35. Velocidad de secado de los tres mejores tratamientos .....	50
Figura 36. Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color L* de la pulpa liofilizada.....	53
Figura 37. Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color a* de la pulpa liofilizada.....	54
Figura 38. Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color b* de la pulpa liofilizada .....	55
Figura 39. Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color L* de la pulpa de cacao a condiciones de liofilizado .....	56
Figura 40. Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color a* de la pulpa de cacao a condiciones de liofilizado.....	57
Figura 41. Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color b* de la pulpa de cacao a condiciones de liofilizado.....	58
Figura 42. Comparación de los índices de color de la pulpa fresca y los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada.....	58
Figura 43. Comparación de pérdida de vitamina C en la liofilización de la pulpa de cacao de los tres mejores tratamientos .....	59
Figura 44. Efecto de la presión, temperatura y tiempo de congelación en la vitamina C de la pulpa de cacao.....	61
Figura 45. Porcentaje de humedad (%) en la pulpa de cacao liofilizada.....	63
Figura 46. Porcentaje de ceniza (%) en la pulpa de cacao liofilizada .....	63
Figura 47. Porcentaje de fibra (%) en la pulpa de cacao liofilizada .....	64
Figura 48. Porcentaje de proteína (%) en la pulpa de cacao liofilizada.....	64
Figura 49. Porcentaje de grasa (%) en la pulpa de cacao liofilizada .....	65
Figura 50. Porcentaje de carbohidratos (%) en la pulpa de cacao liofilizada.....	65
Figura 51. Cantidad de energía (Kcal) que tiene la pulpa de cacao liofilizada .....	66
Figura 52. Atributo de apariencia general del néctar de cocona elaborados con las tres mejores muestras .....	67

## Anexos

Pág.

Anexo 1. Resultados del análisis de los veintisiete tratamientos del agente espesante ....	77
Anexo 2. Análisis descriptivo para la pulpa de cacao en fresco.....	79
Anexo 3. Análisis de Varianza (ANVA) para el espacio de color L*, a*, b* de los veintisiete tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	80
Anexo 4. Análisis de Varianza (ANVA) del parámetro de color L* de los tres mejores tratamientos de pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	85
Anexo 5. Análisis de Varianza (ANVA) del parámetro de color a* de los tres mejores tratamientos de pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	86
Anexo 6. Análisis de Varianza (ANVA) del parámetro de color b* de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	87
Anexo 7. Análisis de Varianza (ANVA) del índice de color (IC) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	87
Anexo 8. Análisis de Varianza (ANVA) de la obtención de Vitamina C en los veintisiete tratamientos de pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	88
Anexo 9. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de humedad (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	93
Anexo 10. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de ceniza (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	94
Anexo 11. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de fibra (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	94
Anexo 12. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de proteína (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	95
Anexo 13. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de grasa (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	96
Anexo 14. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de carbohidratos (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).....	96
Anexo 15. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de energía (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante) .....	97
Anexo 16. Análisis de Varianza (ANVA) para el atributo de apariencia general en la evaluación sensorial del néctar de cocona.....	98

Anexo 17. Ficha para evaluar el atributo de apariencia general en el análisis sensorial de la pulpa de cacao liofilizado .....	99
Anexo 18. Resultados de la curva de secado y velocidad de secado para los veintisiete tratamientos del agente espesante .....	100
Anexo 19. Recolección de la materia prima .....	105
Anexo 20. El fruto de cacao cortado longitudinalmente .....	106
Anexo 21. Pardeamiento enzimático de la pulpa del fruto del cacao .....	106
Anexo 22. Pulpa de cacao con solución de bisulfito .....	107
Anexo 23. Pulpeado y moldeado .....	107
Anexo 24. Liofilizado de la pulpa de cacao .....	108
Anexo 25. Retiro de la muestra pasada las 14 horas de liofilizado .....	108
Anexo 26. Productos finales (Agente espesante) .....	109
Anexo 27. Agente espesante a base de pulpa de cacao en la elaboración de mazamorra morada .....	110
Anexo 28. Agente espesante a base de la pulpa de cacao en la elaboración de néctar de cocona.....	110
Anexo 29. Evaluación sensorial del néctar de cocona.....	111
Anexo 30. Análisis de Vitamina A en la muestra de pulpa de cacao .....	112



## **Glosario de términos**

**NTP:** Norma Técnica Peruana

**INN:** Instituto Nacional de Normalización

**CEPLAC:** Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira

**CMC:** Carboximetilcelulosa

**PEBD:** Polietileno de baja densidad

## Resumen

En el presente trabajo de investigación “Obtención de un agente espesante a partir de la pulpa de cacao (*Theobroma cacao* L.) utilizando el método de liofilización se empleó una metodología para la obtención de un agente espesante de calidad, que consistió en someter los 27 tratamientos a un espesor de 0,5 cm, a diferentes presiones (0,002mbar, 0,12mbar y 1,650 mbar), temperaturas de congelación (-15°C, -20°C y -25°C) y tiempo de congelación (14h, 20h y 24h), donde T7 (0,002mbar x -25°C x 14h), T16 (0,002mbar x -25°C x 20h) Y T25(0,002mbar x -25°C, 24h), presentaron mejores características nutricionales priorizando la conservación de vitamina C. Además, se constató que la presión influye en el tiempo de liofilización, conservación del color, humedad mínima final y textura. Al realizar la prueba de ANVA, del análisis proximal de T7 (0,002mbar x -25°C x 14h), se determinó como mejor tratamiento; 7,41% de proteínas; 8,47% de grasa; 7,72% de ceniza; 40,10% de fibra y 28,19% de carbohidratos. El agente espesante obtenido al ser aplicado en néctar de cocona, se observó que tuvo un similar comportamiento al CMC, en cambio al ser probado en la preparación de mazamorra morada se pudo percibir que no se obtuvo lo esperado, en cuanto a su textura y mediante la evaluación sensorial con escala hedónica de 7 puntos, los atributos de apariencia general del néctar de cocona, si fue aceptable; obteniendo T7 (0,002mbar x -25°C x 14h) como mejor tratamiento.

**Palabras clave:** Cacao, Agente espesante, Liofilización, Evaluación sensorial.

## Abstract

In this research work “Production of a thickening agent from cocoa pulp (*Theobroma cacao* L.) using the lyophilization method, a method it was used methodology to obtain a quality thickening agent, which consisted of submitting the 27 treatments at a thickness of 0.5 cm, at different pressures (0.002mbar, 0.12mbar and 1,650 mbar), freezing temperatures (-15 ° C, -20 ° C and -25 ° C) and freezing time (14h , 20h and 24h), where T7 (0.002mbar x -25 ° C x 14h), T16 (0.002mbar x -25 ° C x 20h) and T25 (0.002mbar x -25 ° C, 24h), presented better nutritional characteristics prioritizing the conservation of vitamin C. In addition, it was found that the pressure influences the lyophilization time, color conservation, final minimum humidity and texture. When performing the ANOVA (Análisis of variance) test, from the proximal T7 analysis (0.002mbar x -25 ° C x 14h), it was determined as the best treatment; 7.41% protein; 8.47% fat; 7.72% ash; 40.10% fiber and 28.19% carbohydrates. The thickening agent obtained when was applied in cocona nectar, it was observed that it had a similar behavior to the CMC, however when tested in the preparation of purple milky maize pudding it was observed that the expected result was not obtained, in terms of its texture and by sensory evaluation with a 7-point hedonic scale, the general appearance attributes of cocona nectar, was acceptable; obtaining T7 (0.002mbar x -25 ° C x 14h) as the best treatment.

**Keywords:** Cocoa, Thickening agent, Lyophilization, Sensory evaluation.



## Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo alternativo del nororiente peruano, que se ha desarrollado básicamente en la selva peruana entre los 300 y 900 m.s.n.m. El Ministerio de Agricultura y Riego (2019) informo en el 2017 que la superficie cosechada de este cultivo fue de 54,159 ha, y la producción nacional en el 2018 alcanzó las 135,300 toneladas. Para Izquierdo (2016) el cacao ofrece numerosos beneficios, siendo además un alimento rico en fibra, vitaminas, minerales y polifenoles.

En el 2018, las principales zonas productivas de cacao fueron San Martín, Cusco, Junín y Ayacucho; mientras que los países de destino de las exportaciones de cacao en grano, crudo o tostado fueron Holanda, Bélgica e Italia (participando con más del 48% del total exportado), siguiéndolo Malasia en presentaciones como manteca y grasa. En algunos países de Europa, Asia y EE. UU se destacaron por las presentaciones de aceite de cacao, sin embargo, el chocolate tuvo mejor acogida en principales mercados de EE.UU. y países de América Latina (Ecuador, Bolivia, Chile y Colombia) (MINAGRI, 2019).

Por otro lado, el aprovechamiento del cacao, mayormente se limita al de las almendras en la elaboración de pasta de cacao, manteca de cacao, entre otros, sin embargo, en el beneficio del cacao se desecha las exudaciones o material mucilaginoso que envuelve a las semillas por tratarse éste, de un sub-producto rico en pectina que puede ser utilizada como una nueva fuente, ya que la gran producción de cacao proporciona una abundante disponibilidad de materia prima (Vela, 1997).

Mendoza (2017), da a conocer que de la pulpa adherida a las mazorcas del cacao se extrae una pulpa que tiene pectina, fibra, vitaminas, zinc, magnesio. Con esa pulpa que es un espesante natural, se preparan consomés y una serie de potajes en donde por lo general se empleaban galletas o pan, con lo cual empleamos menos carbohidratos y cero grasas.

De todas las tecnologías disponibles para producir alimentos deshidratados, la liofilización es el método de secado, más confiable en la conservación de las características sensoriales y nutricionales de un producto alimenticio (Aguilar, 2012). No obstante, la liofilización es la más costosa debido a las condiciones del proceso: alto vacío y muy bajas

temperaturas, resultando un método que permite obtener alimentos de mayor calidad desde el punto de vista nutricional y sensorial (Barret et al, 2005).

Para Aguilar (2012), la liofilización se presenta como una excelente tecnología para obtener un espesante a partir de la pulpa de cacao, que conserve todas sus propiedades nutritivas, siendo uno de los métodos de conservación de alimentos para luchar contra la desnutrición e incorporar un ingrediente para la gastronomía de nuestro país. Por consiguiente, es una alternativa de aprovechamiento de este residuo del cacao que hoy en la actualidad es desechado, y para lograr este propósito se planteó los siguientes objetivos en la presente investigación:

✓ **Objetivo general:**

- Desarrollar el proceso de obtención de un agente espesante a partir de la pulpa de cacao (*Theobroma cacao* L.), utilizando el método de liofilización para producir un espesante alimentario.

✓ **Objetivos específicos**

- Caracterizar la materia prima mediante un análisis físicoquímico (Humedad, color, Vitaminas A y C).
- Determinar las condiciones adecuadas de procesamiento en el liofilizado de la pulpa de cacao, controlando el tiempo, la temperatura y presión.
- Evaluar las características físico-químicas del agente espesante obtenido a partir de la pulpa de cacao (Agente espesante)
- Evaluar el grado de aceptabilidad del espesante alimentario obtenido, mediante la aplicación en un producto (Néctar de cocona).



# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

Barazarte et al. (2008) en su investigación sobre “*La cáscara de cacao (Theobroma cacao L.): Una posible fuente comercial de pectinas*”, reportaron que los niveles de pH y temperatura de extracción influyen significativamente en las características químicas de las pectinas de cáscaras de cacao. La pectina extraída a pH 4 y 90 °C mostró un poder gelificante de 422,16 g fuerza, pureza 62,26 g/100g de AGA y un rendimiento de extracción de 3,89 g/100g, esto permitió preparar una mermelada con un nivel de agrado promedio. No obstante, en el estudio realizado por Franco et al. (2010) compararon las características organolépticas de la pectina extraída de los subproductos del cacao con una pectina comercial proveniente de la cáscara de cítricos, donde determinaron que no hubo diferencias significativas en ninguno de los atributos evaluados al compararlo en las dos mermeladas elaboradas; es decir que la pectina obtenida de la cáscara de cacao fue aceptable para ser empleada en la industria alimentaria.

Calderón (2017) en su investigación sobre “*Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) variedad CCN - 51 procedente del distrito de Pajarillo - provincia de Mariscal Cáceres*”, determinó los parámetros óptimos de extracción de pectina de la cáscara de cacao en función de las características fisicoquímicas de las pectinas comerciales, donde el tratamiento con características favorables y dentro de los parámetros establecidas por el Food Chemicals Codex (FCC) para pectinas comerciales fueron: humedad (7,42%); cenizas totales (7,42%); metoxilo (6,69%); grado de esterificación (81,09%) y de ácido galacturónico (23,4%).

Lazo (2015) en su estudio sobre “*Conservación por liofilización de pulpa de camu camu (Myrciaria dubia HBK)*”, determinó que a menores presiones y espesores se efectúa mejor la liofilización de pulpa natural de camu camu, donde los tratamientos N°1 (0,5 cm espesor x 0,002mbar presión x 0,5% aglomerante) y N°2 (0,5 cm espesor x 0,002 mbar presión x 1,5% aglomerante) tuvieron mejores características organolépticas y

nutricionales, es decir características sensoriales aceptables y con pérdidas de vitamina C mínimas de 8,73 y 12,74% respectivamente, donde la diferencia entre ellas era la cantidad de aglomerante quien era causante de influir en la conservación del color y humedad mínima final. El efecto del espesor, presión y cantidad de aglomerante fueron estimadas en función del tiempo de secado (14 horas) para el tratamiento con 0,5 cm espesor, 0,002 mbar de presión, y 0,5% de cantidad de aglomerante.

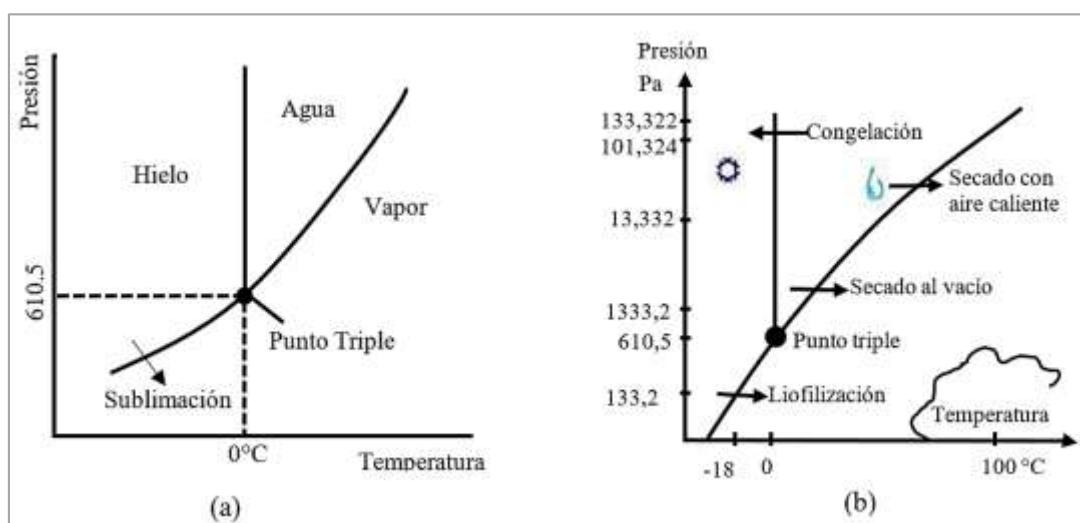
Huachuillca (2017) en su investigación sobre “*Efecto de liofilización sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en la pulpa de aguaymanto (Physalis peruviana L.)*”, determinó que los procesos de liofilización fueron realizados a una temperatura inicial de 19,6 °C, la temperatura de congelación que alcanzó fue de -36 °C manteniéndose esta constante, seguidamente la sublimación alcanzó a 30 °C con una presión de vacío de 0,110 mbar, el tiempo de liofilización fue de 19 horas. El proceso de liofilización tuvo un efecto significativo frente a los compuestos bioactivos disminuyendo a esta y su capacidad antioxidante, sin embargo, este proceso retiene a los compuestos fenólicos no evidenciando un efecto significativo.

Resultados de otras investigaciones dan cuenta, que el índice de color quien describe la coloración de la epidermis de la fruta englobando L, a\* y b\* (García et al., 2011), que según la investigación de Lazo (2015) se relacionan con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo, donde el tratamiento que cumplió con ello fue el T4 (E 0,5 cm x P 1,650 mbar x A 1,5 %). Obregón (2019) en su investigación determinó que los valores de L\*, a\* y b\* en jugo fresco de las mezclas de camu camu y maracuyá hay ligera variación en cuanto al color original, dado que para el parámetro L\*, que representa la luminosidad (variación color negro y blanco; siendo 0 el color negro y 100 el color blanco) en jugo se encontró en rango de 12 y 13. En los valores de cromaticidad (a\*) el color verde se encuentra por debajo de 0 y el rojo por encima de 0, donde en la mezcla jugos v/v (50/50, 70/30, 90/10) estos valores estuvieron entre 1,7 a 4,5 la cual tiene ligera coloración roja. Los valores de cromaticidad (b\*) en la mezcla de jugos v/v (50/50, 70/30, 90/10) obtenidos fueron de 4,72 a 7,58 que incrementaron el tono hacia amarillo.

## 1.2. Bases teóricas

### 1.2.1. La liofilización

El principio en que se basa la liofilización es que, en ciertas condiciones de baja presión de vapor, el hielo se evapora sin derretirse. Cuando un material que puede existir como sólido, líquido y gas pasa directamente del estado sólido al estado gaseoso sin pasar por la fase líquida, se dice que el material se sublima. El agua congelada se sublima si la temperatura está a  $0^{\circ}\text{C}$  o menos y se coloca en una cámara de vacío con una presión de 610.5 Pa o menos, como se observa en la figura 1 a y b, que representa el diagrama de fases del agua. Bajo estas condiciones, el agua permanece congelada y la rapidez con que las moléculas de agua salen del bloque de hielo es mayor que la de las moléculas del ambiente que vuelven a incorporarse al bloque congelado (Potter, 1973).



**Figura 1.** Diagrama de fases del agua (Ramírez, 2006).

La liofilización es un proceso de conservación mediante sublimación utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles, adecuado para preservar células, enzimas, vacunas, virus, levaduras, sueros, derivados sanguíneos, algas, así como frutas, vegetales, carnes, peces, y alimentos en general. En este proceso de secado los productos obtenidos no se ven alterados en sus propiedades (Ramírez, 2006).

Ramírez y Cañizares (2003), afirman que el proceso rudimentario de liofilización fue inventado por los incas para la fabricación del chuño (papa liofilizada) y charqui (carne de llama), 200 años a. c., y aprovechado posteriormente por los vikingos para la conservación del pescado arenque, con la finalidad de obtener comida hipercalórica,

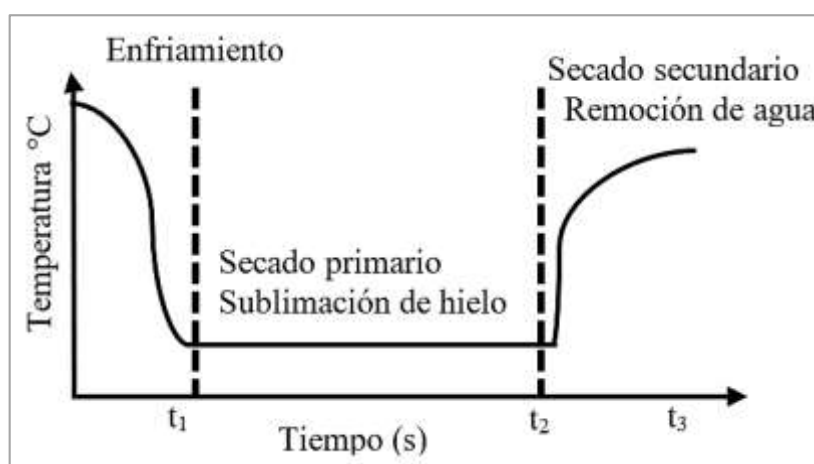
ultraliviana e imputrescible para sus tropas militares. A mitad del siglo XIX reaparece en escena este procedimiento por la necesidad de conservación de tejidos animales y vegetales debido a los trabajos de Pasteur y otros científicos.

En 1943 el profesor Alexander Fleming le atribuyó formalmente el nombre de liofilización a este proceso. En 1958 se aplicó al sector alimentario y por ser una técnica costosa se enfocó a pocos alimentos, como la leche, las sopas, los huevos, la levadura, los zumos de frutas y el café (Ramírez, 2006).

En un estudio realizado por Woinet et al. (1997), liofilizaron un gel de gelatina y observaron y analizaron con un software de análisis de imágenes el tamaño de cristal formado al congelar el gel y determinaron que la suma de solutos iónicos tiene una gran influencia en el tamaño de cristal, validaron un modelo matemático. Asimismo, Chevalier et al. (2000), determinaron la importancia de la relación diámetro del alimento – tamaño del cristal en la primera etapa de la liofilización, indicaron que la tasa de congelación se relaciona con el diámetro según una ley de potencia, liofilizaron un gel de gelatina para realizar su estudio.

### 1.2.2. Etapas de liofilización

Cuando va a liofilizarse un material húmedo se efectúan tres operaciones básicas que se observan en la figura 2:



**Figura 2.** Etapas de liofilización (Fuente: Ramírez, 2006).

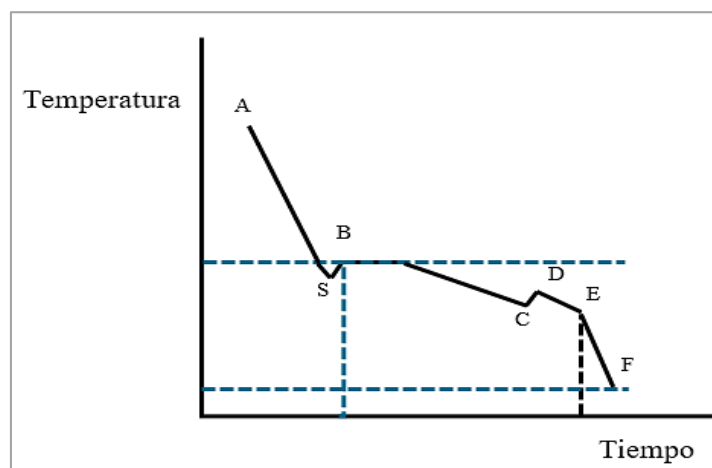
### **1.2.2.1. Congelación**

La temperatura y tiempo de congelación de productos alimentarios es función de los solutos en solución que contienen. La temperatura de congelación para el agua pura permanece constante en el punto de congelación hasta que el agua se ha congelado. Para los alimentos, la temperatura de congelación es más baja que para el agua pura, ya que los solutos del agua no congelada se van concentrando y la temperatura de congelación va disminuyendo continuamente hasta que la solución queda congelada. Al final de la congelación la masa entera del producto se torna rígida, formando un eutéctico, que consiste en cristales de hielo y componentes del alimento. Se requiere llegar al estado eutéctico para asegurar la eliminación de agua sólo por sublimación, y no por combinación de sublimación y evaporación. La permeabilidad de la superficie congelada, puede verse afectada por la migración de componentes solubles durante la etapa de congelación. Sin embargo, la eliminación de la fina capa de la superficie del producto congelado, o la congelación bajo condiciones que inhiban la separación de la fase de concentrado, dan lugar a mejores velocidades de liofilización (Barbosa- Cánovas, 2005).

La velocidad óptima de congelación con fines de liofilización depende en gran parte de la naturaleza del producto. La variación en la velocidad de congelación afecta al tamaño de los cristales de hielo y por tanto al tamaño de poro en el producto seco, siendo de esperar, en consecuencia, que influya en la velocidad de desecación y en las características del producto, sobre todo en rehidratación. Las velocidades óptimas de congelación tienen que determinarse experimentalmente (Brennan, 1980).

- **Curva de congelación**

El proceso de congelación en los alimentos es más complejo que la congelación del agua pura. Los alimentos al contener otros solutos disueltos además de agua, presentan un comportamiento ante la congelación similar al de las soluciones. La evolución de la temperatura con el tiempo durante el proceso de congelación es denominada curva de congelación (Poggio, 2016).



**Figura 3.** Curva de congelación (Poggio, 2016).

- ❖ **AS:** el alimento se enfría por debajo de su punto de congelación. El punto S, corresponde a una temperatura inferior al punto de congelación, el agua permanece en estado líquido. Este sub enfriamiento puede ser de hasta 10 °C por debajo del punto de congelación.
- ❖ **SB:** la temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación, pues al formarse los cristales de hielo se libera el calor latente de congelación a una velocidad superior a la que este se extrae.
- ❖ **BC:** el calor se elimina a la misma velocidad que en las fases anteriores, eliminándose el calor latente con la formación de hielo, permaneciendo la temperatura prácticamente constante. En esta fase se forma la mayor parte del hielo.
- ❖ **CD:** uno de los solutos alcanza la sobresaturación y cristaliza. La liberación del calor latente correspondiente provoca aumento de la temperatura, hasta la temperatura del soluto.
- ❖ **DE:** la cristalización del agua y los sólidos continúa.
- ❖ **EF:** la temperatura de la mezcla de agua y hielo desciende.

El almacenamiento en frío no es un bactericida. Las bajas temperaturas disminuyen la tasa de crecimiento bacteriano, pero no las matan por completo. Es por ello, que los alimentos que se almacenan a bajas temperaturas deben ser de buena calidad. (Potter & Hotchkiss, 1998).

### **1.2.2.2. Sublimación (deshidratación primaria)**

La velocidad de deshidratación depende principalmente de la resistencia que el alimento ofrece a la transferencia de calor y en menor grado, a la transferencia de vapor (transferencia de materia) desde el frente de sublimación. La sublimación tiene lugar desde la superficie del hielo, de manera que, al proseguir, el límite del hielo se va retirando hacia el centro del alimento, es decir que el alimento se deshidrata desde la superficie hacia adentro. Finalmente, el último resto de hielo se sublima y la humedad del alimento queda reducida a menos de 5%. Ya que el alimento congelado permanece rígido durante la sublimación, las moléculas de agua que se escapan dejan huecos, lo cual resulta en una estructura seca, porosa y esponjosa. Por eso, los alimentos liofilizados se reconstituyen rápidamente, pero tienen que ser protegidos mediante envases adecuados contra la absorción de humedad atmosférica y oxígeno (Potter, 1973). El proceso de sublimación es mucho más eficiente a presiones mínimas debido a que el agua se extrae por un impulso originado por el gradiente depresión total (Alvarado, 1996; Perry, 1997).

### **1.2.2.3. Desorción (deshidratación secundaria)**

La etapa secundaria de secado comienza cuando se ha agotado el hielo en el producto, y la humedad proviene del agua parcialmente ligada en el material que se está secando. En este momento la velocidad de calentamiento debe disminuir para mantener la temperatura del producto por debajo de los 30-50°C, lo que evita el colapso del material. Si la parte sólida del material está demasiado caliente, la estructura se colapsa, lo que se traduce en una disminución de la velocidad de sublimación de hielo en el producto (Barbosa-Cánovas, 2005).

En ésta etapa, la pérdida de agua se produce por deshidratación evaporativa (desorción) del agua no congelada, el contenido de agua se reduce hasta el 2% (sobre peso húmedo). La desorción se consigue manteniendo el liofilizador a baja presión y elevando la temperatura hasta un valor próximo al del ambiente.

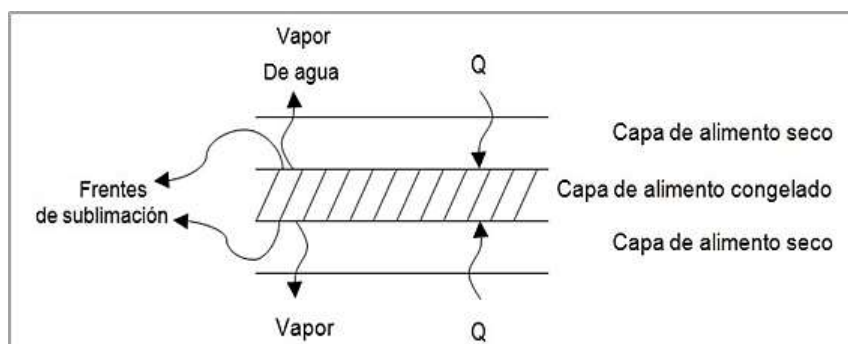
- **Procesos en el que hay transferencia simultánea de calor y masa durante la liofilización:**
  - Transferencia de vapor de agua desde el frente de hielo a través de la capa seca hasta la zona calefactora por difusión.



- Transmisión del calor desde la zona calefactora a la superficie del hielo a través de la capa seca o liofilizada por conducción.

- **Capas que diferencian el producto sometido a secado por liofilización:**

- Una capa congelada y con toda el agua inicial presente.
- Capa deshidratada y separada de la capa congelada por la denominada superficie de sublimación del hielo. Esta superficie no está perfectamente definida, sino que es un frente difuso de sublimación.



**Figura 4.** Superficie de sublimación de hielo (Fuente: Ceballos, 2008).

La velocidad de transferencia de vapor a través de la capa liofilizada cumple la ley de Darcy, (Ecuación 1), es decir la velocidad de flujo es directamente proporcional a la caída de presión, donde:

$$\frac{dx}{dt} = A.b. \frac{(P_i - P_s)}{e} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

dónde:

**dx/dt:** es el flujo másico de vapor a través de la capa seca (kg vapor/s)

**b:** es la permeabilidad de la capa de alimento seco con respecto al transporte de vapor (kg/ms·Pa).

**P<sub>i</sub>** es la presión de vapor en el frente de sublimación (Pa).

**P<sub>s</sub>:** es la presión de vapor de agua en la superficie de la capa seca (Pa).

**e:** es el espesor de la capa seca (m).

**A:** es el área efectiva de sublimación (m<sup>2</sup>)

Por otra parte, la velocidad de transferencia de calor (Ecuación 2) es:

$$\frac{dQ}{dt} = k_d \cdot A \cdot \frac{(T_s - T_i)}{e} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

dónde,

**dQ/dt:** Velocidad de transferencia de calor

**Kd:** conductividad térmica de la capa seca (J/s·m·K).

**A:** es el área efectiva de sublimación (m<sup>2</sup>)

**Ts:** es la temperatura de la superficie de la capa seca (°C)

**Ti:** es la temperatura del hielo en el frente de sublimación (°C).

**e:** espesor de la capa seca (m)

En condiciones de estado estacionario (Ecuación 3):

$$\left( \begin{array}{c} \text{Velocidad} \\ \text{transmisión del calor} \\ \text{por conducción} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Velocidad} \\ \text{transmisión del vapor} \\ \text{por difusión} \end{array} \right)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda \cdot \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Reemplazando en ecuación 3,

$$\frac{K_d \cdot A \cdot (T_s - T_i)}{e} = \lambda \cdot \frac{A \cdot b \cdot (P_i - P_s)}{e} \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$

Obteniéndose una expresión que nos relaciona ambas fuerzas impulsoras:

$$K \cdot d \cdot (T_s - T_i) = \lambda \cdot b \cdot (P_i - P_s) \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$

En el caso de un sólido de forma plana que se liofiliza por una de las caras, suponiendo que el contenido de humedad de la capa seca es Xe (kg agua/kg sólido seco) y que el frente de hielo retrocede formando un plano uniforme, la velocidad de desecación dx/dt es:

$$\frac{dx}{dt} = A \cdot \rho_s \cdot \frac{de}{dt} (x_0 - x_e) \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$

dónde,

$\rho_s$ : es la densidad de sólido seco.

$X_0$ : es el contenido inicial de humedad (base seca).

Por tanto, resulta:

$$-\frac{dx}{dt} = A * \rho_s * (x_0 - x_e) * \frac{de}{dt} = \frac{K_d * A * (T_s - T_i)}{\lambda_e} = \frac{A * h * (P_i - P_s)}{e} \dots \dots \dots \text{Ecuación 7}$$

integrando la segunda y tercera ecuación:

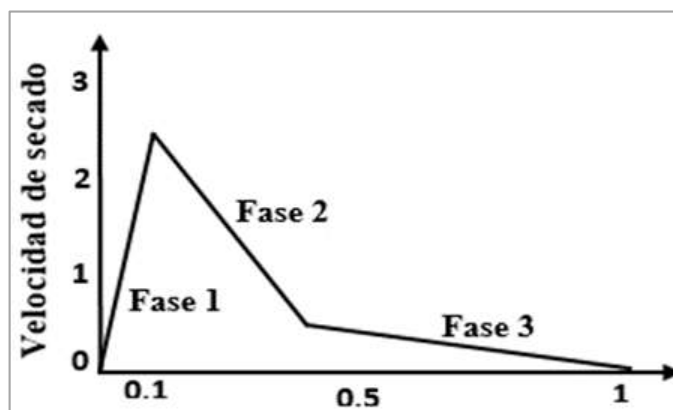
$t = 0 \rightarrow e = 0; t = t \rightarrow e = e$ , obtenemos el tiempo de liofilización:

$$t = \frac{\lambda \rho_s (X_0 - X_e) e^2}{2 * K_d * (T_s - T_i)} \dots \dots \dots \text{Ecuación 8}$$

(ITESCAM, 2002).

### 1.2.3. Fases de liofilización

En la figura 5 se describe las fases de liofilización. El proceso de secado por liofilización propiamente, inicia con la fase 1, o etapa conductiva o de deshidratación primaria. Durante esta etapa el producto se calienta y aumenta rápidamente la sublimación hasta alcanzar un punto máximo. La velocidad de extracción del agua es alta, debido a que la resistencia al transporte de calor desde la placa calefactora al material y al flujo másico de vapor sublimado al condensador es pequeña. Se remueve entre el 70 y el 90% del agua y dura aproximadamente el 10% del tiempo de liofilización. La sublimación ocurre cuando se suministra la energía correspondiente al calor latente medido a la presión de vacío en la cámara de secado. Cuando comienza el calentamiento, empieza a formarse un frente de sublimación con interface entra la capa seca y la capa congelada de la muestra el cual avanza progresivamente. El mecanismo preponderante es la transferencia de calor por conducción. La transferencia de masa ocurre por la migración de vapores a través de la capa seca de la muestra bajo la acción de una diferencia de presión; esta transferencia es alta cuando la diferencia de presión es grande, y el vapor de agua generado en la interface de sublimación se elimina a través de los poros (Ceballos, 2008).



**Figura 5.** Fases de la liofilización (Fuente: Ceballos, 2008).

Durante la segunda fase o primera etapa difusiva se presenta un descenso importante de velocidad de sublimación debido a la formación de una capa porosa de material seco que opone resistencia creciente al flujo de calor y al vapor. Mientras aumenta el espesor de la capa seca crece la resistencia. Durante esta etapa, se reduce la difusión desde la interfase de sublimación hacia la superficie del producto (Ceballos, 2008).

La tercera fase o segunda etapa difusiva, corresponde al periodo donde se absorbe la humedad desde el interior del producto seco. La velocidad de sublimación es cada vez menor, hasta aproximarse a cero. Las fases difusivas corresponden a una evaporación a vacío; una vez que desaparece todo el hielo, el agua restante del producto queda como agua ligada, la cual se elimina manteniendo la misma presión de vacío durante la sublimación, pero la temperatura del producto se eleva, se debe a que el calor necesario para retirar el agua ligada es más alto que el calor de sublimación (Ceballos, 2008).

El tiempo de desorción es aproximadamente proporcional al cuadrado del espesor del producto. En la transferencia de calor y masa se combinan la acción de la temperatura y los gradientes de presión como fuerzas impulsoras, que deben vencer las resistencias generadas por el espesor de la muestra y sus características físicas. Mientras sea más delgado el espesor, menor es la resistencia para que el flujo de calor y al paso de masa a través de la muestra. Puesto que la difusividad de los aromas disminuye sensiblemente cuando la humedad es pequeña es posible incrementar la temperatura de calefacción y del producto sin que se deteriore (Ceballos, 2008).

#### **1.2.4. Ventajas y desventajas de la liofilización**

Para Ramírez (2006), el principal objetivo de la liofilización es quitar el agua de un material, mientras queda la estructura básica y composición del material intacto. Hay dos razones para hacer esto con un alimento:

- Disminución del agua: se realiza para evitar que el alimento se estropee por la acción de microorganismos, tales como las bacterias que se alimentan de la materia y la descomponen. Las bacterias pueden generar enfermedades o causar el mal gusto en los alimentos.
- Reducción de peso total del alimento: la mayoría de los alimentos está compuesto de una gran parte de agua (la mayoría de las frutas entre un 80 – 90% de agua). Al eliminar el agua, se obtiene un alimento más ligero, facilitando el transporte del producto.

Por otro lado, Pardo y Mauricio (2002) mencionan las principales ventajas y desventajas de la liofilización:

- **Ventajas**

- Mantiene mejor la estructura y el aspecto original del alimento.
- La baja temperatura de trabajo impide la alteración de productos termolábiles.
- Al sublimar el hielo, queda una estructura porosa que permite una reconstitución rápida.
- Inhibe el deterioro del color y sabor por las reacciones químicas y las pérdidas de propiedades fisiológicas.
- La humedad residual es baja.
- El tiempo de conservación es largo.

- **Desventajas**

- Es necesaria una gran inversión en equipamientos, alrededor de tres veces el de otros métodos.
- Alto coste energético.
- Elevado tiempo de proceso.
- Alto precio del producto final.

### 1.2.5. La Materia Prima: Cacao (*Theobroma cacao* L.)

El cacao es el nombre común del árbol *Theobroma cacao* y de los frutos del mismo. Los botánicos, siguiendo la creencia de los aztecas, denominaron al cacao con el nombre científico de *Theobroma cacao* que significa en latín “alimentos de dioses”. El grano de cacao juega un importante papel como materia prima en la industria alimentaria, sobre todo en el sector de confitería, cosméticos y farmacéutico (Vélez y De Vélez, 1990).

El cacao es una especie nativa de los bosques tropicales húmedos de América del Sur que crece en climas cálidos. El fruto del cacao es una baya o mazorca ovoidea, grande, y aguda hacia el ápice, de veinticinco a treinta centímetros de largo y de diez a quince de grueso aproximadamente, con un pedúnculo recio y recto, epicarpio grueso, sub leñoso; las semillas son ovoides y pardas cuando están secas; la almendra es de unos dos centímetros y de sabor muy amargo (De La Mota, 2007).

#### 1.2.5.1. Clasificación taxonómica

Según el Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA (2009), afirma que la clasificación taxonómica del cacao es la que sigue:

Reino : Plantae  
 Subreino : Tracheobionta  
 División : Magnoliophyta  
 Clase : Magnoliopsida  
 Subclase : Dilleniidae  
 Orden : Malvales  
 Familia : Sterculiaceae  
 Subfamilia : Byttnerioideae  
 Género : *Theobroma*  
 Especie : *cacao* L.

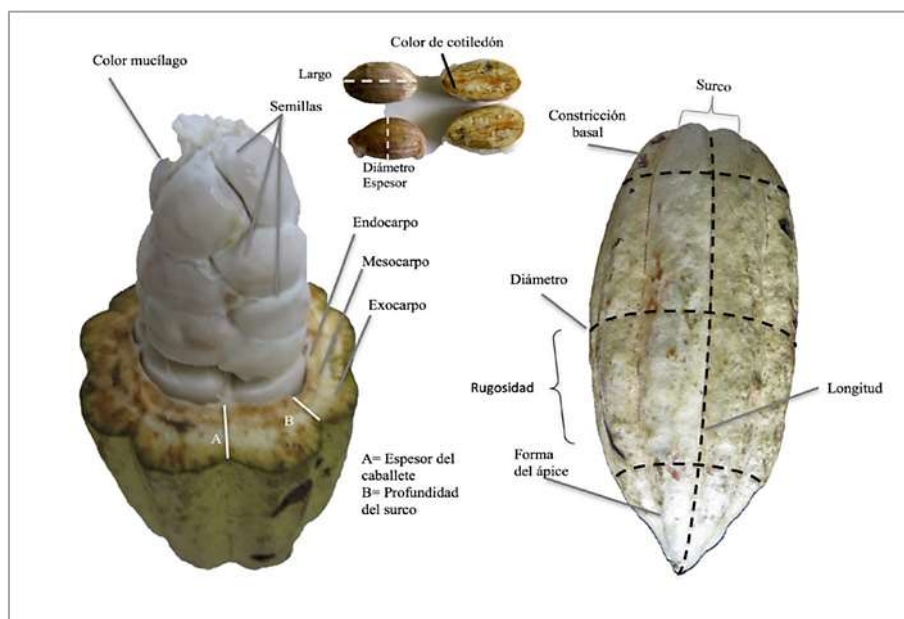
#### 1.2.5.2. Morfología del fruto del cacao

Dostert et al. (2011) describieron la morfología del fruto del cacao como una baya grande (mazorca), polimorfa, esférica a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez,

glabro, 10—20(—35) cm de largo. 7 cm ancho, 200—1000 gr de peso y con 5—10 surcos longitudinales. El endocarpo es de 4—8 mm de grosor, duro y carnoso, y leñoso en estado seco. Las semillas son café-rojizas, ovadas, ligeramente comprimidas. 20—30(—50) mm de largo, 12—16 mm de ancho y 7—12 mm de grosor.

Suárez et al. (2012) indicaron que al hacer un corte transversal al fruto del cacao aparecen las siguientes partes: el epicarpio, mesocarpo y endocarpo. El grosor y la lignificación de la cáscara es también variable, siendo mayor en cacao de la variedad CCN-51.

- Epicarpio: Es de color verde, rojo, amarillo o morado, esto depende de la variedad del cacao. Está formado por tejidos epidérmicos que contienen compuestos antociánicos.
- Mesocarpo: Es de consistencia carnosa y de color amarillento, está compuesto por un tejido parenquimático, que está implicado en una variedad de funciones como la fotosíntesis, el almacenamiento, elaboración de sustancias y en la regeneración de tejidos vegetales. Las paredes celulares son flexibles y delgadas de celulosa, pueden presentar paredes secundarias lignificadas.
- Endocarpo: Es la capa interna está constituido por un tejido leñoso.



**Figura 6.** Esquema de fruto y semilla de cacao (Fuente: Ceballos, 2008).

### **1.2.5.3. Variedades de cacao**

Las variedades del cacao se dividen en 3 grupos: criollo. Forasteros amazónicos y trinitarios producto de los dos grupos anteriores. Considerándose como un grupo independiente el tipo nacional. Esta clasificación ha sido muy difícil debido principalmente a la heterogeneidad de los cultivares, basándose principalmente en características de la mazorca, la flor y la semilla (Hardy, 1960).

#### **a) Criollo**

Son árboles relativamente bajos y menos robustos respecto a otras variedades. Su copa es redonda con hojas pequeñas de forma ovalada, de color verde claro y gruesas. Este tipo de cacao se caracteriza por tener mazorcas alargadas de colores verde y rojizo en estado inmaduro, tornándose amarillas y anaranjadas rojizas cuando están maduras, el chocolate obtenido de este cacao es apetecido por el sabor a nuez y fruta. Comercialmente se enmarca dentro de los cacaos finos (Minifie, 1989).

Para Sinche (2011) es un grupo genético cuyo cultivo se dispersó desde México hacia otras partes del mundo. Este cacao se ha domesticado y adaptado en diferentes regiones del planeta, pero es el más delicado, de poca productividad y susceptible a las enfermedades. También se caracteriza por poseer estaminodios rosados, mazorcas verdes o rojas, del tipo cundeamor; posee entre veinte y treinta semillas de color blanco y beige, alto contenido de grasa, sin astringencia y bastante aroma. Los principales tipos de Criollos incluyen cacao pentágono, cacao real y cacao porcelana.

#### **b) Forastero**

El cacao forastero es un árbol más vigoroso con follaje grande e intenso, más tolerante a las enfermedades. Comercialmente, pertenece al grupo de cultivares más importantes y aporta cerca del 80% de la producción mundial de cacao. Es originario de la cuenca superior del Amazonas y se cultiva en Perú, Ecuador, Venezuela, Colombia, Brasil, África Occidental, América Central y el Caribe. Se caracteriza porque su fruto es de color verde, la cubierta del fruto (pericarpo) es gruesa y el mesocarpo está fuertemente lignificado. Sus semillas son redondeadas, ligeramente aplanadas (Sinche, 2011).



### c) Trinitario

Al natural los tipos de cacao se cruzan perfectamente originando una descendencia muy variable, específicamente en las características del fruto y la almendra; estos híbridos son conocidos generalmente como trinitarios, los híbridos de cacao producen mazorcas de diferente formas, tamaño y color; pero la forma del fruto de los mejores híbridos es alargados (Sinche, 2011).

#### 1.2.5.4. Composición química de la mazorca del cacao

En la tabla 1 se describe la Composición química de la cáscara de cacao. La cáscara tiene 85% de humedad 1,07 % de proteína 0,02% de grasas 5,45% de fibra cruda 1,14% de minerales 7,05 % de proteínas 0,171% de nitrógeno 0,026 de fósforo 0,545 % de potasio 0,89% de pectina.

**Tabla 1**

*Composición química de la cáscara de cacao.*

Componentes	%p/p
Humedad	85,00
Proteína	1,07
Minerales	1,41
Grasa	0,02
Fibra	5,45
Carbohidratos	7,05
N	0,17
P	0,03
K	0,55
Pectinas	0,89

Fuente: Mejía y Argüello, 2000.

En la tabla 2 se describe la composición química de la pulpa de cacao. Se puede observar que la pulpa del cacao tiene 35,38% de humedad 16,43% de solidos totales 4,94% de fructuosa 4,72% de glucosa 0,9% de ácido cítrico 0,12% de nitrógeno total 0,0027% de aminoácidos, 2,5% de pectina, 10 mg/100g de vitamina C, 15% de sólidos solubles 3,7% de pH.

**Tabla 2***Composición química de la pulpa de cacao.*

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje</b>
Humedad	35,38
Sólidos totales	16,43
Azúcares totales	11,24
Azúcares reductores	---
Fructuosa	4,94
Glucosa	4,72
Ácido (en ácido cítrico)	0,90
Nitrógeno total	0,12
Aminoácidos	0,003
Pectina	2,50
Vitamina C (mg/100)	10,00
Sólidos solubles	15,00
pH	3,70

Fuente: CEPLAC, 1984.

En la tabla 3 se describe el análisis fisicoquímico del exudado de cacao, pues tiene 23,13% de sólidos totales 17% de sólidos solubles (°Brix), 0,78% de acidez titulable, 3,8 de Ph, 1,29% de pectina (pectato de calcio, 170,40 mg/100 g de azúcares reductores y 9,25 mg/100g de vitamina C.

**Tabla 3***Resultados del análisis físico-químico del exudado de cacao.*

<b>Análisis</b>	<b>Contenido</b>
Sólidos totales (%)	23,13 ±0,02
Sólidos solubles(°Brix)	17,00±0,21
Acidez titulable (g ác. cítrico por 100 g muestra).	0,78±0,01
pH (26.5°C)	3,80±0,01
Péctina (% de pectato de calcio)	1,29±0,15
Azúcares reductores (mg por 100 gr muestra)	170,40±0,04
Vitamina C (mg por 100 g muestra)	9,25±0,01

Fuente: Pinedo, 2002.

En la tabla 4, podemos observar el contenido nutritivo en los granos de cacao, en polvo y en chocolate.

**Tabla 4***Composición nutritiva del grano de cacao.*

<b>Contenidos</b>	<b>Cacao en polvo</b>	<b>Chocolate</b>
Energía (Kcal)	255	449-53
Proteínas (g)	23	4,2-7,8
Hidratos de carbono (g)	16	47-65
Almidón	13	3,1
Azúcares	3	50,1-6
Fibra	23	5,9-9
Grasas	11	29-3,6
Grasa saturada	6,5	15,1-18,2
Sodio	0,2	0,02-0,08
Potasio	2	0,4
Calcio (mg)	150	35-63
Fósforo	600	167-257
Hierro(mg)	20	2,2-3,2
Magnesio	500	100-113
Cinc (mg)	9	1,4-2,0
Vitamina A (ui)	3	3
Vitamina E (mg)	1	0,25-0,3

Fuente: Sinche, 2011.

En la tabla 5, se puede apreciar los resultados de los análisis fisicoquímicos de la pectina obtenida de las cáscaras de Cacao. Se puede ver que el rendimiento de esterificación promedio es 4,10%, el grado de esterificación promedio es 42,36%, sólidos totales 46,52%, el tiempo de gelificación 41,5 min, Acidez libre 5,47 meq carboxilo libre/g pectina), 3,34% de ceniza, 14,23% de humedad, color marron claro oscuro.

**Tabla 5***Análisis físico-químico de la pectina obtenida de las cáscaras de cacao.*

<b>Análisis</b>	<b>Resultado/Valores</b>
Rendimiento de esterificación promedio (%)	4,10
Grado de esterificación promedio (%)	42,36
Sólidos totales	46,52
Tiempo de gelificación (min)	41,50
Acidez libre (meq carboxilo libre/g pectina)	5,47
Cenizas (%)	3,34
Humedad (%)	14,23
Color	Marrón claro a oscuro

Fuente: Del Aguila y Zegarra, 2016.

### 1.2.6. Hidrocoloides

Los hidrocoloides son polisacáridos de alto peso molecular que, al interactuar con otras moléculas, son capaces de modificar las propiedades reológicas, actuar como estabilizantes, espesantes o gelificantes, entre otras propiedades (Badui, 2006).

Las propiedades generales de los hidrocoloides útiles incluyen el grado de solubilización en agua, la capacidad de incrementar la viscosidad y, en ocasiones la de formar geles. Algunas funciones incluyen mejora y estabilización de la textura, inhibición de la cristalización (azúcar y hielo), estabilización de las emulsiones y espumas, mejora del recubrimiento con azúcar (disminuye su pegajosidad) de algunos productos de pastelería y la encapsulación de los sabores (Fennema, 2000).

Son importantes por su capacidad de controlar la reología de los sistemas acuosos ya que estabilizan las emulsiones y suspensiones de partículas, controlan la cristalización e inhiben la sinéresis (Mora, 2013). Las funciones y aplicaciones de los hidrocoloides en los alimentos se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Funciones y aplicaciones de hidrocoloides en alimentos.*

<b>Función</b>	<b>Aplicación en alimentos</b>
Inhibidor de la cristalización	Helados
Emulsificante	Aderezos, bebidas
Encapsulante	Sabores, vitaminas microencapsuladas
Formador de películas	Productos cárnicos
Agente floculante	Vino, Cerveza
Estabilizador de espuma	Cerveza, cremas
Agente gelificante	Postres
Estabilizante	Mayonesa, Cerveza
Agente espesante	Salsa, mermeladas

Fuente: Badui, 2006.

#### 1.2.6.1. Gelificantes, espesantes y estabilizantes

Algunos de estos productos no están bien definidos químicamente, pero todos tienen en común el tratarse de cadenas muy largas formadas por la unión de muchas moléculas de azúcares más o menos modificados. La industria de estos aditivos se

desarrolló en Europa y América durante la segunda guerra mundial, tras interrumpirse el suministro de los gelificantes procedentes de Asia (Ibáñez et al., 2003).

Las gomas vegetales son productos obtenidos de exudados (resinas) y de semillas de vegetales, o producidas por microorganismos. No suelen formar geles sólidos, sino soluciones más o menos viscosas. Se utilizan, por su gran capacidad de retención de agua, para favorecer el hinchamiento de diversos productos alimentarios, para estabilizar suspensiones de pulpa de frutas en bebidas o postres, para estabilizar la espuma de cerveza o la nata montada, etc. (Ibáñez et al., 2003).

En general las gomas vegetales son indigeribles por el organismo humano, aunque una parte es degradada por los microorganismos presentes en el intestino. La fibra dietética es asimilable metabólicamente, y pueden producir efectos beneficiosos reduciendo los niveles de colesterol del organismo (Ibáñez et al., 2003).

#### **1.2.6.2. Agentes espesantes**

Un agente espesante se diferencia de los emulsionantes por no poseer en sus moléculas grupos hidrofílicos y lipofílicos enlazados; actuando en cambio como un hidrocoloide estabilizante. En este contexto un espesante, como verdadero estabilizante debe cumplir con los siguientes requisitos (Schmidt-Hebbel, 1990):

- Calidad higiénica
- Sabor neutro y que no afecte el sabor propio del producto.
- Buen poder de dispersión y/o buena solubilidad.
- Estabilidad frente a influencias físicas, químicas y biológicas
- Logro de textura, consistencia y viscosidad deseadas.
- Resistencia a shocks térmicos (cambios bruscos de temperatura) con buena estabilidad frente a la congelación y descongelación.
- Tolerancia frente a electrolitos (sal).
- Resistencia a cambios de pH.

Multon (1999) menciona que a veces se aprovecha la posible acción sinérgica entre varios espesantes, lo que permite disminuir su concentración y aumentar la

viscosidad, como sucede p. ej. entre las gomas xantana, algarrobo y guar y entre éstas y los espesantes químicos.

#### **a) Espesantes derivados de la celulosa**

Cada unidad básica de los anhídridos de glucosa que forman la celulosa posee 3 grupos hidroxilo disponible en su cadena que pueden ser sustituidos por grupos alquílicos o hidroxialquílicos para formar los esterés correspondientes. Generalmente, prefiere sólo una sustitución permite obtener una enorme gama de derivados, de propiedades funcionales diferentes. Uno de los derivados, más importantes es la carboximetilcelulosa (CMC) en la forma de su sal sódica:  $R-O-CH_2-COONa$ , la cual produce la propiedad deseada de la hidrosolubilidad. Siendo el grado máximo posible de sustitución en cada anhídrido de glucosa, la CMC de uso en alimentos tiene un grado máximo de sustitución de 0.9 a 0.95. Su solubilidad en agua y las características de sus soluciones como su viscosidad no solo dependen de su grado de sustitución, sino también de la uniformidad de distribución de los grupos carboximetílicos en la cadena polímero de la celulosa, y de su grado de polimerización. La estabilidad de sus soluciones depende de los siguientes factores (Schmidt-Hebbel, 1990):

- Mantención del pH cerca de la neutralidad o al lado alcalino, con un óptimo de 7-9 y un margen posible de 5 a 11. Como en la mayoría de las gomas espesantes hay una relación inversa entre temperaturas y viscosidad; pero sólo un calentamiento prolongado a altas temperaturas produce pérdidas irreversibles de viscosidad por despolimerización de la CMC.
- El ataque biológico por bacterias, hongos y levaduras de las soluciones de CMC es posible, por lo que conviene adicionarlas de benzoato y sorbato. También conviene protegerlas del oxígeno y de la luz solar. Mientras los cationes monovalentes forman sales solubles de la CMC. El ión  $Ca^{++}$  produce enturbiamiento y los trivalentes como Fe o Al. la precipitan o forman geles.
- La metilcelulosa:  $R-O-CH_3$  es soluble en agua fría y se vuelve espesa por el calor, lo que depende de su grado de sustitución. La hidroximetilcelulosa:  $R-OCH_2CH_2-OH$  exhibe tolerancia frente a cambios de pH y electrolitos disueltos.

Un derivado bien diferente es la llamada celulosa “microcristalina” (o Avicel) obtenida por hidrólisis controlada con HCl de la alfacelulosa, la cual forma entonces una

fracción amorfa que se hidroliza totalmente y otra insoluble, microcristalina, no fibrosa, insoluble en agua, pero que se puede dispersar en un gel estable (Schmidt-Hebbel, 1990).

#### **b) Espesantes derivados del almidón**

Almidones pregelatinizados, por vía física. Para su preparación se somete el almidón a una precocción, generalmente haciendo pasar una pasta de almidón y agua entre rodillos calientes, seguida de molienda y desecación. Se produce así un cierto grado de fragmentación de los granos hinchados, dando suspensiones más o menos estables al agua fría. Se usan p. ej. en polvo para budines de disolución instantánea (Schmidt-Hebbel, 1990):

- **Almidones modificados por vía química**

- Almidones modificados al ácido: Se obtienen por suspensión en ácido muy diluido y mantención a temperatura algo inferior a la de la gelatinización durante un tiempo que depende del grado deseado de fluidez, produciéndose una cierta hidrólisis.
- Almidones reticulados. Las cadenas de las moléculas de almidón son frágiles al calor y a la congelación, conduciendo a la retrogradación o sinéresis en que las moléculas de amilosa, originalmente de cadenas rectas, vuelven a asociarse con formación de un precipitado y pérdida de agua y de viscosidad.
- Almidones estabilizados. Son aquellos modificados sin reticulación molecular, al hacer reaccionar el almidón con anhídrido acético o con óxido de propileno.

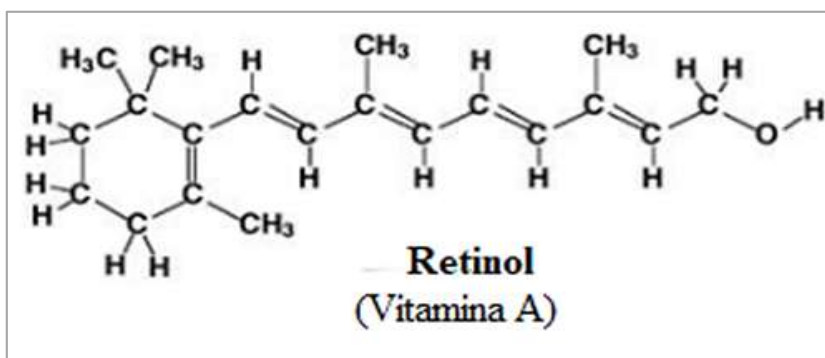
- **Polidextrosa**

- Polímero de condensación de D-glucosa, combinado con algo de sorbitol y ácido cítrico, con enlace 1,6-glucosídico. Es muy soluble en agua y se usa como humectante y espesante de pocas calorías instantánea (Schmidt-Hebbel, 1990).

#### **1.2.7. Vitamina A**

Según Díaz y Santana (2009), la vitamina A (retinol) solo se encuentra como tal en alimentos de origen animal, aunque en los vegetales se encuentra como provitamina A, en forma de carotenos. Los distintos carotenos se transforman en el cuerpo humano y

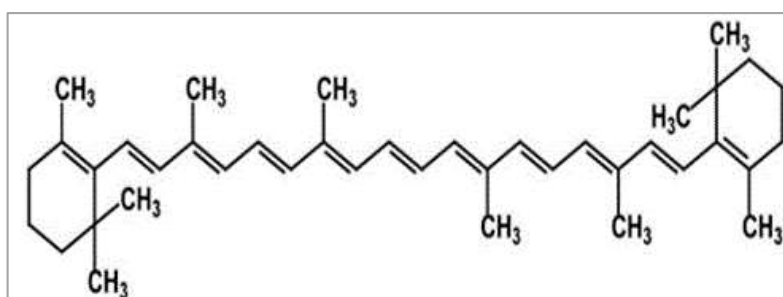
se almacenan en el hígado y en el tejido graso de la piel, por lo que es posible sobrevivir por largos periodos sin su aporte. (Ver figura 7).



**Figura 7.** Estructura química de Vitamina A (Fuente: Díaz y Santana, 2009).

Los carotenoides son pigmentos responsables del color amarillo, anaranjado y rojo en frutas, alimentos, vegetales, en la yema del huevo, algunas truchas, salmones y crustáceos (Otle y Atli, 2002).

Los carotenoides son sustancias hidrofóbicas, lipofílicas y son insolubles en agua. Se disuelven en solventes como acetona, alcohol, éter etílico, tetrahidrofurano y cloroformo (Rodríguez-Amaya, 1999). Los más conocidos son el  $\beta$ -caroteno y el licopeno, sin embargo, existen también otros que se usan como colorantes alimentarios:  $\alpha$ -caroteno, bixina, etc. (Linden y Lorient, 1996). La vitamina A está presente en los alimentos de origen animal en forma de vitamina A pre-formada y se llama retinol, mientras que en los vegetales aparece como pro vitamina A, también conocidos como carotenos o carotenoides, entre los que se destaca es el  $\beta$ -caroteno, un antioxidante extremadamente efectivo en condiciones de falta de oxígeno. (Ver figura 8)



**Figura 8.** Estructura molecular  $\beta$ -caroteno (Fuente: Chacón y Esquivel, 2013).



El consumo de  $\beta$ -caroteno presenta un déficit importante; en un estudio que se realizó en la universidad de Costa Rica con jóvenes de 17 a 19 años, se halló que solo el 25% de la población estudiada cumple con las recomendaciones para  $\beta$ -caroteno. La deficiencia de Vitamina A sigue siendo un problema serio de salud pública en los países en desarrollo, mientras que las fuentes dietarias y la adecuación de la ingesta de las provitaminas A continúan siendo la principal preocupación (Gómez et al., 2001).

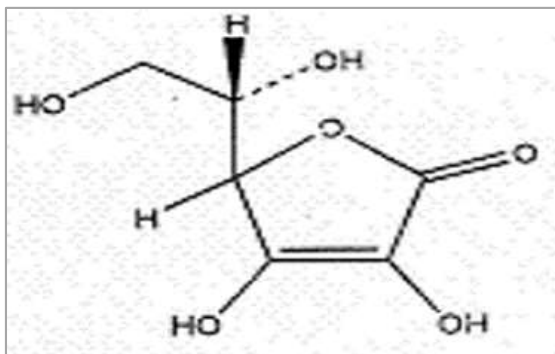
La principal función que cumple la vitamina A en nuestro organismo es protección de la piel y de la vista. También participa en la elaboración de enzimas en el hígado y de hormonas sexuales y suprarrenales. El consumo de alimentos ricos en vitamina A es recomendable en personas propensas a padecer infecciones respiratorias, problemas oculares con piel seca y escamosa. Lo podemos encontrar en el hígado, leche entera, vísceras de animales, zanahorias, espinacas cocidas, perejil, mantequilla, manteca, queso, yema de huevos, pescado y diversas frutas y vegetales amarillos (Díaz y Santana, 2009).

#### **1.2.7.1. Deficiencia de Vitamina A**

Según Díaz y Santana (2009) más de 100 millones de niños y niñas son afectados por la deficiencia de Vitamina A, siendo esta la causa de una de cada cuatro muertes infantiles en las regiones, países y comunidades que la padecen. En actualidad, se ha demostrado también que la carencia de vitamina A incrementa las tasas de mortalidad materna.

#### **1.2.8. Vitamina C**

Es conocida como ácido ascórbico, compuesto altamente polar, soluble en agua. Es considerada como el agente reductor más reactivo en forma natural en el tejido vivo, además se considera como nutriente esencial para el ser humano, ya que éste no puede sintetizarlo por sí solo (Nuñez, 2008). (Ver figura 9).



**Figura 9.** Estructura química del ácido ascórbico (Fuente: Trujillo, 2013).

La vitamina C es la menos estable de todas las vitaminas hidrosolubles, pues es lábil al calentamiento en presencia de oligametales como el cobre, en solución se degrada, se oxida fácilmente en presencia de oxígeno y la rapidez de oxidación aumenta cuando se eleva la temperatura (Ramos et al., 2002). Otros factores que pueden influir en los mecanismos de degradación de la vitamina C, es la concentración de sal y azúcar, el pH, las enzimas, los catalizadores metálicos y la concentración inicial de ácido (Nuñez, 2008).

#### 1.2.8.1. Fuentes principales

En la naturaleza está presente casi en forma reducida de ácido L-ascórbico. La principal fuente de vitamina C son las frutas, hortalizas y zumos (Ramos et al., 2002). Tradicionalmente los alimentos ricos en vitamina C son las frutas del tipo cítrico: naranja, mandarina, pomelo, frutilla, melón y kiwi; vegetales como el tomate, brócoli, pimienta, espinaca y berro (Chire y Dávila, 2014), también perejil y brotes de soya (Murillo, 2006). Pero, el camu camu contiene más vitamina C que cualquier otra fruta, pues comparada con la naranja el camu camu proporciona 30 veces más vitamina C (Zavala, 2010).

El contenido de vitamina C en las frutas y verduras varía de acuerdo al índice de madurez, siendo menor cuando estén verdes, aumenta la cantidad cuando está en su punto óptimo de maduración y luego vuelve a disminuir (Villarreal, 2008).

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1. Lugar de ejecución**

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Investigación en la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín ubicado en la Ciudad Universitaria, Distrito de Morales, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín.

#### **2.2. Materia prima**

Los frutos de cacao (*Theobroma cacao* L.) fueron recolectadas en un estado de madurez pintón-maduro del Centro Poblado Zapote, Distrito de Yantalo, Provincia Moyobamba, Departamento de San Martín.

#### **2.3. Equipos y materiales**

##### **2.3.1. Equipos**

- Liofilizador LABCONCO, modelo 7934042. Capacidad 6 L.
- Balanza analítica (AND GH-200, capacidad 220 g, mínimo 0.001 g).
- Balanza analítica (AND GH-200, capacidad 5 kg g, mínimo 0.1 g).
- Colorímetro triestímulo portátil (Konica Minolta, modelo CR-400).
- Licuadora manual OSTER, potencia 600 W.
- Cocina eléctrica FICHER, temperatura máxima de 600 °C.
- Estufa (MEMMERT, Modelo ED080, 1,20 KW).
- Refrigeradora-Congeladora SAMSUNG, temperatura Refrigeradora: 3 °C y Congeladora: -25 °C.
- Termómetro digital (Barbecue High Thermometer, temperatura -50 a 300°C).
- Bureta digital de titulación titrette de máxima precisión
- Refractómetro digital
- Soxhlet
- Micro Kjeldahl
- Horno de mufla eléctrica

- pH metro digital Thermo scientific

### **2.3.2. Materiales**

- Pipeta digital de 5 ml.
- Micropipetas de 100 a 1000  $\mu$ L
- Matraz Erlenmeyer de 50, 100, 250, 500 y 1000ml
- Vasos de precipitación de 50 ml, 1000 ml, 500 ml y 50 ml.
- Fiolas de 50 ml y 1000ml
- Probeta de 100 ml.
- Placas petri medianas de  $\varnothing$  9 cm.
- Tubos de ensayo
- Campana desecadora (Cap. 2 L aprox.).
- Pisseta de plástico de 1000 ml.
- Pinzas de metal para crisol
- Espátula de acero inoxidable
- Espátula con mango de madera
- Cuchillo de acero inoxidable.
- Cuchara de acero inoxidable
- Tabla de picar de plástico.
- Embudo simple
- Crisol de porcelana
- Mortero de porcelana
- Moldes de vidrio (10\*10\*1cm).
- Regla de metal de 30 cm
- Bolsas Ziplock 23x20cm.
- Papel aluminio.
- Papel toalla.
- Papel filtro libre de ceniza
- Papel filtro de filtración rápida
- Guantes de Látex.

### **2.3.3. Reactivos**

- Bisulfito de sodio 0.05%

- Agua destilada
- Éter de petróleo
- Fenolftaleína
- Hidróxido de potasio 0.1 N
- Hidróxido de sodio Sólido 99% (Marca Merck, N° CAS 130-73-2).
- 2,6 – diclorofenol-indofenol (Marca Sigma, N° CAS C-2908).
- Ácido sulfúrico
- Ácido bórico
- Tabletas Kjeldahl

## 2.4. Métodos

Se realizó análisis proximal de la materia prima (pulpa de cacao) y del producto terminado (agente espesante) siguiendo la siguiente metodología:

### 2.4.1. Métodos de análisis

Se utilizó métodos diferentes, para la determinación de humedad de la pulpa fresca y liofilizada, debido a la diferencia en sus características físicas.

#### 2.4.1.1. Determinación de humedad

##### a) Pulpa fresca

Se determinó por el método de estufa, a presión atmosférica, a 105°C hasta peso constante por espacio de 24 horas (A.O.A.C, 2012). Tal como se puede apreciar en la figura 10 a, b, c.



a) Estufa b) Secado de la muestra c) Pulpa de cacao en base seca

**Figura 10.** Determinación de humedad de la pulpa fresca.

### b) Pulpa liofilizada

Se determinó por el método de estufa, a presión atmosférica, a 105°C hasta peso constante por espacio de 3 horas (NCH841 of 78 – Insitututo Nacional de Normalización), tal como se puede observar en la figura 11 a, b, c.



a) Campana desecadora b) Estufa c) Pulpa de cacao liofilizada en base seca

**Figura 11.** Determinación de humedad del liofilizado.

### 2.4.1.2. Determinación de color

El color de las muestras de pulpa de cacao se midió en un colorímetro de marca Konica Minolta, Japón. Posteriormente, se comparó la muestra fresca con las muestras sometidas a los diferentes tratamientos de secado (Soysal, 2004). (Ver figura 12).



**Figura 12.** Determinación de color de la pulpa fresca.

### 2.4.1.3. Determinación de sólidos solubles (°Brix)

NTP 203.072: 1977. Establece el método para determinar el contenido de sólidos solubles en productos elaborados a partir de frutas y otros vegetales por refractometría. Pesar aproximadamente 10 gramos de pulpa fresca, moler en un mortero hasta obtener una masa pegajosa, calibrar el refractómetro digital con agua destilada, tomar una cantidad mínima y poner sobre el prisma. (Ver figura 13 a, b).



a. Refractómetro digital b) Triturado de la pulpa de cacao fresca

**Figura 13.** Determinación del contenido de solidos solubles (°Brix) de la pulpa de cacao.

#### 2.4.1.4. Determinación del porcentaje de acidez

NTP 203.070:1977. "Productos elaborados a partir de frutas y otros vegetales". Se determina mediante titulación ácido-base. Pesar aproximadamente 10 gramos de muestra fresca, moler en un mortero hasta obtener una masa pegajosa, luego de esta masa pesar 1 gramo, diluir en 10 ml de H<sub>2</sub>O destilada, agregar 3 gotas de fenolftaleína y titular con KOH al 0.1 N. (Ver figura 14)



a) Bureta de titulación digital b) Pulpa de cacao fresca licuada

**Figura 14.** Determinación del porcentaje de acidez (%).

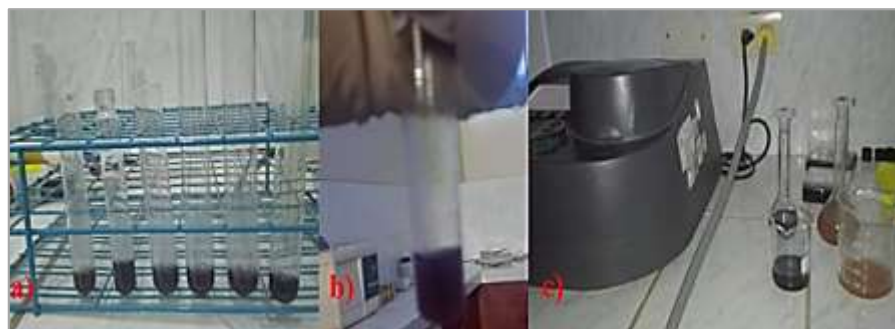
#### 2.4.1.5. Determinación de Vitamina C

Se utilizó el método de titulación visual con 2,6 diclorofenolindofenol. (A.O.A.C, 2012).

##### a) Pulpa fresca

Se procedió a pulpear en relación 1:10 (Pulpa fresca: H<sub>2</sub>O destilada), se homogenizó en un agitador magnético por 15 min, se tamizó, luego se hace reaccionar 900μL de pulpa acuosa, con 100μL de 2,6 diclorofenolindofenol al 1%, se incubó por 15

min, seguidamente se corre la muestra en el espectrofotómetro, registrándose la absorbancia de 515 nm, obteniéndose las cantidades de ácido ascórbico. (Ver figura 15 a, b, c).



- a) Solucion con dicloroindofenol b) Muestra a analizar c) Corrida de las muestras en el espectrofotómetro

**Figura 15.** Determinación de Vitamina C de la pulpa fresca.

#### **b) Pulpa liofilizada**

Se procedió a diluir pulpa liofilizada en agua destilada, se homogeniza en un agitador magnético por 15 min, luego se hace reaccionar 900 $\mu$ L de pulpa acuosa, con 100 $\mu$ L de 2,6 diclorofenolindofenol al 1%, se incuba por 15 min, seguidamente se corre la muestra en el espectrofotometro, registrándose la absorbancia de 515 nm, obteniéndose las cantidades de ácido ascórbico. (Ver figura 16 a, b).



- a) Mmuestras antes de ser dluidas en agua destilada b) Solución de 2,6 diclorofenolindofenol al 1% mas muestra diluida

**Figura 16.** Determinación de Vitamina C de la pulpa liofilizada.



#### 2.4.1.6. Determinación de proteína total

Se determinó por el método Kjeldahl que consta de 3 procesos: digestión, destilación y titulación (A.O.A.C, 2000). (Ver figura 17 a,b,c,d).

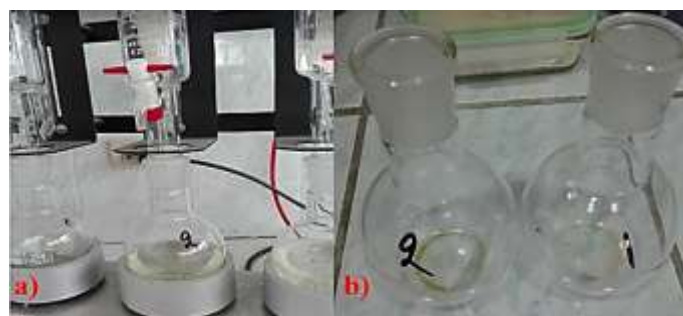


a) Digestión b) Destilación c) Titulación con HCl al 1N, d) Vira color fuxia, luego de titular la muestra con HCl

**Figura 17.** Determinación de proteína total.

#### 2.4.1.7. Determinación de grasa total

Se determinó por el método Soxhlet, extrayendo la grasa de la muestra con éter de petróleo como solvente (A.O.A.C, 2000). (Ver figura 18 a, b)



a) Soxhlet, determinador de grasa, por extracción de solvente b) balones mas grasa

**Figura 18.** Determinación de grasa total.

#### 2.4.1.8. Determinación de ceniza total

En este método toda la materia inorgánica se volatiliza, se xida en presencia de flama que va desde los 500°C a 600°C, el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza (Nollet, 1996). (Ver figura 19)



**Figura 19.** Determinación de ceniza total.

Se realizó por calcinación de la muestra previamente secada y carbonizada en mufla a 550°C durante 4 horas.

#### **2.4.1.9. Determinación de fibra total**

Se determinó mediante el método gravimétrico que consiste en la extracción secuencial con  $H_2SO_4$  al 1.25% y NaOH al 1.25% (A.O.A.C, 2000). (Ver figura 20 a, b, c, d).



- a) Digestión alcalina b) Digestión ácida c) Filtrado de la digestión ácida d) Filtrado de la digestión alcalina

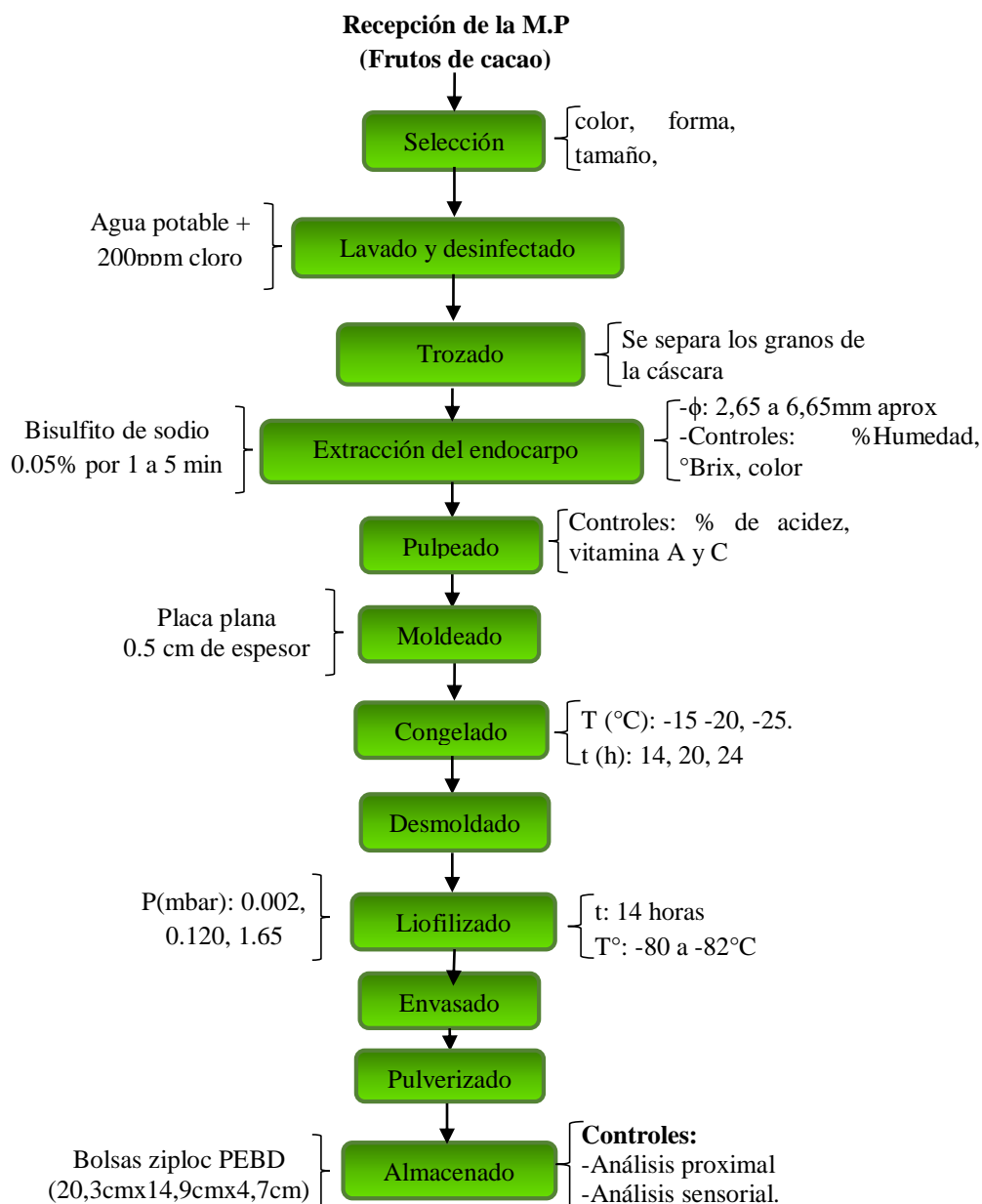
**Figura 20.** Determinación de fibra total.

#### **2.4.1.10. Determinación de carbohidratos**

Se determinó por diferencia restándose de 100 la sumatoria de los porcentajes de humedad, proteína, grasa, ceniza y fibra (A.O.A.C., 2000).

#### **2.4.2. Obtención del agente espesante**

En la figura 21 se describe el flujograma para la obtención de un espesante con la pulpa de la cáscara del cacao, el proceso se detalla a continuación.



**Figura 21.** Flujograma para la obtención de un espesante con la pulpa de la cáscara del cacao.

#### 2.4.2.1. Descripción del proceso

##### a) Recepción de la materia prima

Los frutos de Cacao (*Theobroma cacao* L.) se recolectaron en el centro poblado Zapote, distrito de Yantalo, provincia de Moyobamba, departamento de San Martín un estado pintón-maduro, con apariencia firme, color característico. Tal como se observa en la figura 22 a, b.



a) Frutos frescos de cacao variedad criolla b) Pesado de los frutos del cacao

**Figura 22.** Frutos de cacao variedad criollo.

### **b) Selección**

Se separaron los frutos de cacao que se encontraban en malas condiciones o dañados durante el transporte.

### **c) Lavado y desinfectado**

La mazorca fue lavado previamente con abundante agua, se aplicó una mezcla desinfectante añadiendo agua potable más hipoclorito de sodio a 200 ppm durante 5 min, para eliminar residuos indeseables que contienen sustancias extrañas u presencia de microorganismos.

### **d) Trozado**

Los frutos de cacao se cortaron longitudinalmente, dividiéndole en dos partes la mazorca, para ello se utilizó un cuchillo que esté previamente limpio y desinfectado. Se separó los granos del cacao de la cáscara del cacao o lo que se conoce como mazorca (Ver figura 23 a, b, c)



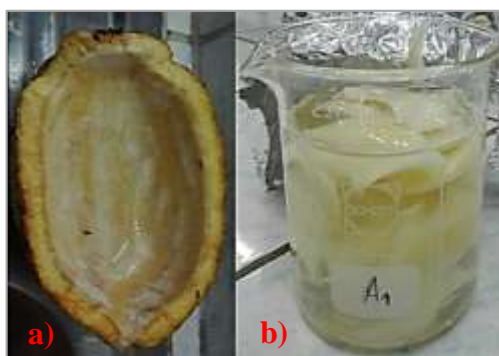
a) Fruto de cacao b) Corte del fruto c) Cáscara de cacao

**Figura 23.** Corte longitudinal de los frutos de cacao variedad criollo.

## b) Extracción del endocarpo

En un vaso de precipitado de 250 ml se prepara la solución de bisulfito de sodio al 0.05%, relación 1:4 (pulpa: agua), por cada 50gr de pulpa, se agrega 200 ml de H<sub>2</sub>O destilada y 0.05 gr de bisulfito de sodio de 1 a 5 min, lo que evitara el pardeamiento enzimático.

Para extraer la pulpa de la mazorca del cacao la parte blanca y suave, se utilizó una cuchara, el espesor de la pulpa del cacao criollo a extraer es de aproximadamente 2.5 mm a 6.65 mm, pues varía según la calidad de los frutos de cacao, mientras mayor cantidad de nutrientes tenga el suelo, mejor será la calidad de estos frutos (Ver figura 24 a, b, c).



a) Cáscara de cacao b) Endocarpo de cacao en solución de bisulfito

**Figura 24.** Pulpa diluida en solución de bisulfito al 0.05%.

## b) Pulpeado

La parte del endocarpo se pulpea, haciendo uso de una licuadora (Ver figura 25 a, b, c).



a) Pulpeado b) pulpa licuada

**Figura 25.** Pulpa de cacao homogenizada.

### b) Moldeado

Se utilizaron placas planas de 9x9,3cm, se midió 0,5 cm de espesor por todo el contorno de la placa, se tara las placas y se colocó en cada placa 36 gr de muestra. (Ver figura 26 a, b).



a) Moldeado de la pulpa en placas b) Tratamiento 4 (0,002mbar, -20°C, 14horas)

*Figura 26.* Moldeado.

### b) Congelado

Para el congelado, las muestras fueron puestas en la congeladora, a una temperatura de -15, -20, -25, durante un tiempo de 14, 20 y 24 horas. (ver figura 27).



*Figura 27.* Pulpa de cacao congelada.

### c) Desmoldado

Se procedió a descongelar un poco las muestras por 2 a 3 minutos, luego se colocó en el recipiente de cuatro bandejas.



#### d) Liofilizado

Se realizó utilizando una presión de (0.002, 0.120 y 1.65) mbar con un tiempo de liofilización de 14 hr para todas las muestras. (Ver figura 28 a, b, c).



a) Liofilizador b) Vaso mas muestra c) bandeja mas muestras

**Figura 28.** Proceso del liofilizado.

- **Pérdida de peso**

Se registraron los datos de la pérdida de peso de las muestras durante el tiempo de proceso (Las dos primera horas, se registró cada 30 min y posteriormente fue cada 1 hora hasta el término del secado), mediante una balanza de precisión, de las cuales se tomaron los datos para las curvas de secado (Lazo, 2015).

- **Determinación de la velocidad de secado**

Con los datos experimentales de humedad y tiempo se determinó el comportamiento de la velocidad de secado para los diferentes tratamientos (Geankoplis, 1998), graficándose los valores R vs humedad promedio (Ecuación 9):

$$R = \frac{L_s}{A} \left( \frac{\Delta x}{\Delta t} \right) \dots \dots \dots \text{(Ecuación 9)}$$

R = Velocidad de secado (Kg H<sub>2</sub>O/ h.m<sup>2</sup>)

$\Delta x$  = Variación de humedad (Adimensional).

$\Delta t$  = Variación de tiempo (h).

L<sub>s</sub> = Masa de solido seco (Kg).

A = Área de superficie expuesta al secado (m<sup>2</sup>).

## b) Envasado

Una vez completadas las 14 horas se retira la muestra del liofilizador, se envasa de forma rápida en bolsas ziploc PEBD (20,3cmx14,9cmx4,7cm), para que no absorba humedad, se cierra la bolsa. (Ver figura 29 a, b).



a. Pulpa liofilizada desmoldada b) Liofilizado antes de ser triturado

**Figura 29.** Agente espesante de la pulpa de cacao.

## c) Triturado

Se procede a triturar la pulpa liofilizada con la ayuda de un mortero, obteniendo el agente espesante en polvo. (Ver figura 30).

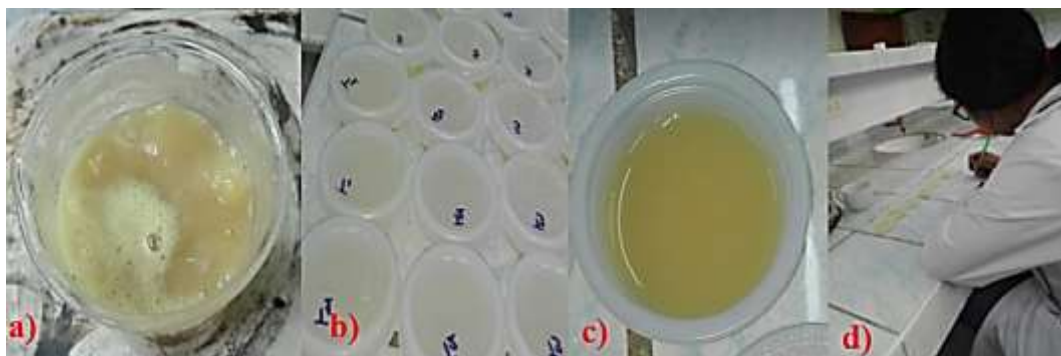


**Figura 30.** Agente espesante triturado.

## • Prueba sensorial

Se añade el 2% del agente espesante obtenido (Pulpa de cacao liofilizada) en la preparación del néctar de cocona, a través del cual los jueces semi entrenados seleccionarán el mejor tratamiento. (Ver figura 31 a, b, c, d)





a) Cocción del néctar de cocona b) Néctar de cocona elaborados con las tres mejores tratamientos. C) Néctar de cocona elaborado con el tratamiento N°07 d) Evaluación sensorial

**Figura 31.** Evaluación sensorial del néctar de cocona.

## 2.5. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño estadístico que se utilizó durante la investigación fue un Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial de  $3 \times 3 \times 3$ , con tres repeticiones, basada en el análisis de varianza; el objetivo es determinar si existe diferencia significativa entre los tratamientos, y realizar las interacciones de tres en tres para ver así más notoriamente la variabilidad de los resultados.

Las interacciones fueron de tres factores ( $a^*$ ,  $b^*$  y  $c^*$ ), cada uno de estos con un nivel mínimo y máximo; es decir: presión (0,002, 0,12 y 1,650mbar), temperatura de congelación ( $-15^\circ$ ,  $-20^\circ$  y  $-25^\circ\text{C}$ ) y tiempo de congelación (14, 20 y 24 horas). El total de los tratamientos realizados en la experimentación fueron 27, incluyendo 3 repeticiones, haciendo un total de 81 experimentos. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza a un nivel de significancia del 5 % y una prueba de Tukey. Para esto se utilizó el programa software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

**Tabla 7***Tratamientos de estudio.*

<b>Factores</b>	<b>Diseño Experimental</b>		
	<b>(-1)</b>	<b>0</b>	<b>(+1)</b>
Presión (mbar)	0,002	0,12	1,65
Temperatura (°C)	-15	-20	-25
Tiempo (hr)	14	20	24

Se realizó el análisis proximal y la evaluación sensorial con escala hedónica de 7 puntos para los tres mejores tratamientos como prioridad por conservar la vitamina C, utilizando el diseño de bloques completos al azar, con la finalidad de determinar el mejor tratamiento en el secado por liofilización.

**Tabla 8***Matriz de combinación de tratamientos.*

				<b>Factores</b>		
				<b>Presión (mbar)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (h)</b>
a1	b1	c1	T1	0.002	-15	14
a2	b1	c1	T2	0,12	-15	14
a3	b1	c1	T3	1,65	-15	14
a1	b2	c1	T4	0.002	-20	14
a2	b2	c1	T5	0,12	-20	14
a3	b2	c1	T6	1,65	-20	14
a1	b3	c1	T7	0.002	-25	14
a2	b3	c1	T8	0,12	-25	14
a3	b3	c1	T9	1,65	-25	14
a1	b1	c2	T10	0.002	-15	20

Combinacion			Tratamiento	Factores		Hora (h)
				Presión (mbar)	Temperatura (°C)	
a2	b1	c2	T11	0,12	-15	20
a3	b1	c2	T12	1,65	-15	20
a1	b2	c2	T13	0.002	-20	20
a2	b2	c2	T14	0,12	-20	20
a3	b2	c2	T15	1,65	-20	20
a1	b3	c2	T16	0.002	-25	20
a2	b3	c2	T17	0,12	-25	20
a3	b3	c2	T18	1,65	-25	20
a1	b1	c3	T19	0.002	-15	24
a2	b1	c3	T20	0,12	-15	24
a3	b1	c3	T21	1,65	-15	24
a1	b2	c3	T22	0.002	-20	24
a2	b2	c3	T23	0,12	-20	24
a3	b2	c3	T24	1,65	-20	24
a1	b3	c3	T25	0.002	-25	24
a2	b3	c3	T26	0,12	-25	24
a3	b3	c3	T27	1,65	-25	24

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización físico - química del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.)

En la tabla 9 se presenta los datos de la caracterización fisicoquímica determinada para la pulpa fresca de cacao de la variedad “Criollo”.

**Tabla 9**

*Caracterización de la pulpa de cacao fresca*

Análisis		Resultados
% Humedad		89,06±1,30
Color	L*	82,97±21,85
	a*	-0,75±2,21
	b*	9,45±2,05
Sólidos solubles, °Brix		7,9±0,35
%Acidez		1,88±0,35
Vitamina A (Retinol) µg/100g		1,50
Vitamina C (µg/ml)		25,48±0,62

Los valores del porcentaje de humedad en la pulpa fresca es 89,06±1,30, bastante alta, sin embargo, presenta poca variación respecto a lo reportado por Mejía y Arguello (2000) para la cáscara de cacao que es 85%. En la tabla 16 observamos la variación del color con respecto a L\*a\* y b\* (Ver Anexo 2), El parámetro L\*, que representa la variación entre el color negro y blanco; siendo 0 el color negro y 100 el color blanco, se puede observar que los valores son cercanos a 100 y tienen tendencia a saturación blanco. Asimismo, los valores de cromaticidad (a\*) que varían desde verde hasta el color rojo (el color verde se encuentra por debajo de 0 y el rojo por encima de 0) tuvieron el mismo comportamiento, donde los valores de a\* para la pulpa fresca fueron por debajo y por encima de cero, es decir que la pulpa posee una coloración que va de saturación verde a roja poco intenso. Los valores de b\* en cambio, muestran la variación del color entre el azul (valores debajo de cero) y el amarillo (valores encima de cero), se puede observar que los valores son positivos y tienen tendencia a saturación amarilla.

La pulpa fresca del cacao criollo analizada presentó valores diferentes a lo reportado por Pinedo (2002). La pulpa de cacao tuvo  $7,9\pm 0,3$  de sólidos solubles, una cantidad inferior a los sólidos solubles del exudado de cacao que tuvo  $17,00\pm 0,21$  de sólidos solubles, respecto a la acidez titulable es  $1,88\pm 0,35\%$  cantidad superior a la del exudado de cacao que presenta  $0,78\pm 0,01\%$ . Con el contenido de vitamina C ocurre lo contrario se tiene  $2,55\pm 0,63$  mg/100g, una cantidad inferior en comparación con el exudado de cacao que fue  $9,25\pm 0,013$  mg/100g. Rafecas y Codony (2000) en su estudio obtuvieron  $0,9 \mu\text{g}/100\text{g}$  (3 UI) de vitamina A en los granos de cacao en polvo, cantidad inferior a lo reportado por el Laboratorio de Control de Calidad – Universidad Nacional de Piura, donde en el análisis de nuestra pulpa de cacao (*Theobroma cacao* L.) se obtuvo  $1,5\mu\text{g}/100\text{g}$  de vitamina A para la pulpa fresca de cacao variedad criollo (Ver Anexo 31).

### 3.2. Rendimiento de pulpa del cacao (*Theobroma cacao* L.)

En la tabla 10 se presenta, el rendimiento de cada una de las partes del fruto del cacao; 73,35% cáscara, 18,05% grano (semilla), el cual representa poca variación respecto a lo mencionado por Mendoza (2017) 20% del fruto, 1,76% placenta y 6,83%, pulpa de cacao, la variabilidad en el rendimiento de la pulpa se debe en gran parte a la variedad del cacao y al lugar de donde proviene la materia prima, pues en el área del terreno hay mucha variabilidad en el suelo en cuanto a sus nutrientes. Además, cabe mencionar que la superficie cosechada para el 2017 fue de 54,159 ha, con una producción nacional de 135,300 toneladas (MINAGRI, 2019), lo que representa aproximadamente 27,742 toneladas por año de residuo (pulpa y/o endocarpo de cacao) que se estaría aprovechando.

**Tabla 10**

*% Rendimiento de la pulpa de cacao*

	<b>Cantidad (g)</b>	<b>Porcentaje(%)</b>
Cáscara	1500,64	$73,35\pm 8,29$
Grano	369,28	$18,05\pm 5,02$
Placenta	36,08	$1,76\pm 0,72$
Pulpa	139,81	$6,83\pm 3,83$

### 3.3. Secado por liofilización

#### 3.3.1. Efecto de la presión del liofilizado, tiempo y temperatura de congelación

En la figura 32 se visualiza veintisiete curvas de secado, a diferentes presiones (0,002, 0,12 y 1,65mbar), Temperatura de congelación (-15, -20 y -25°C) y tiempo de congelación (14, 20 y 24h) de la pulpa de cacao. Comparando cada uno de los tratamientos se tiene que a menor presión (0,002mbar), menor tiempo de liofilizado (8h), y a mayor presión (1.65mbar) mayor tiempo de liofilización (9h), resultado que concuerda con lo mencionado Lazo (2015), que, a menores presiones, se efectúa mejor el liofilizado.

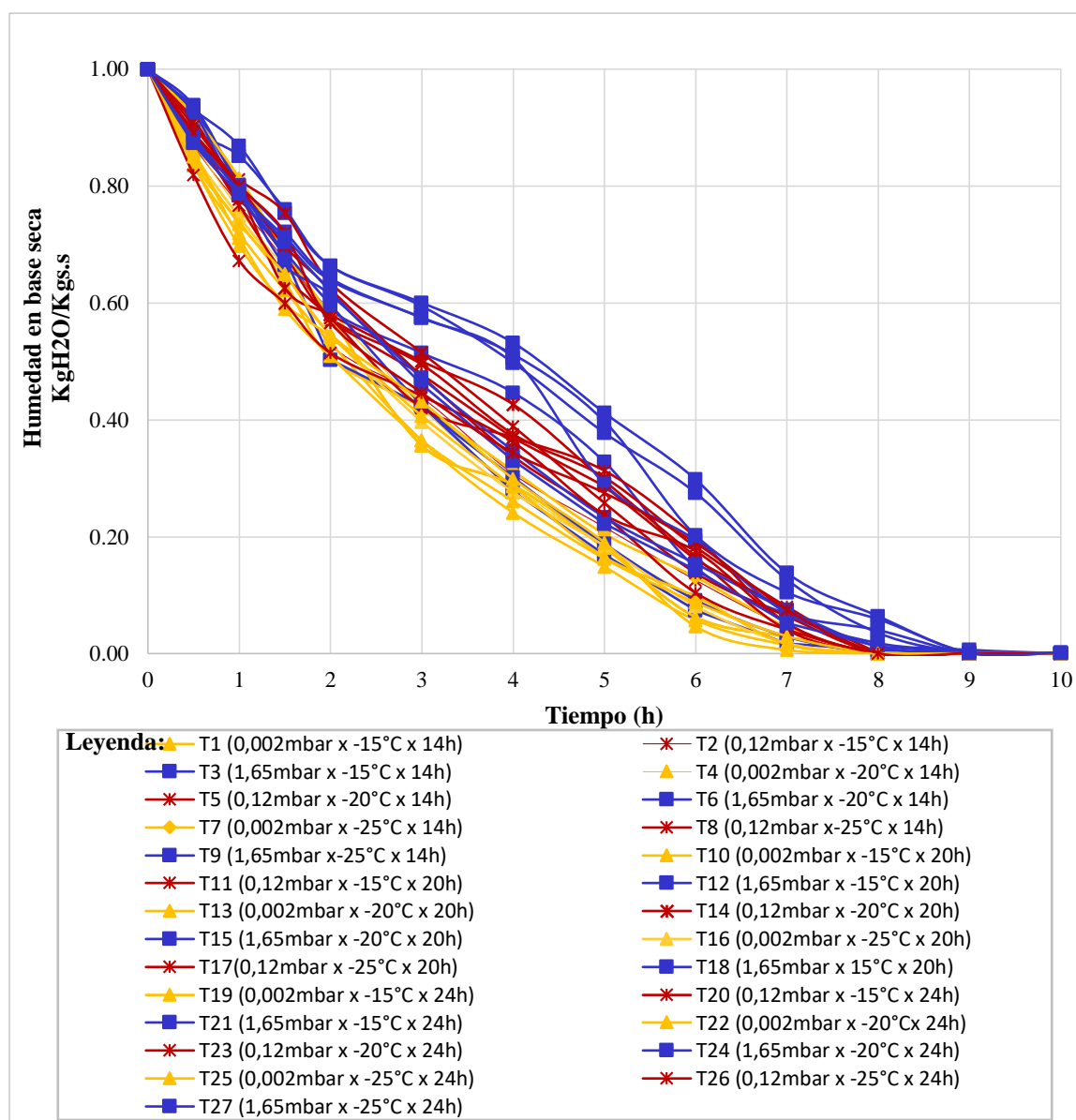
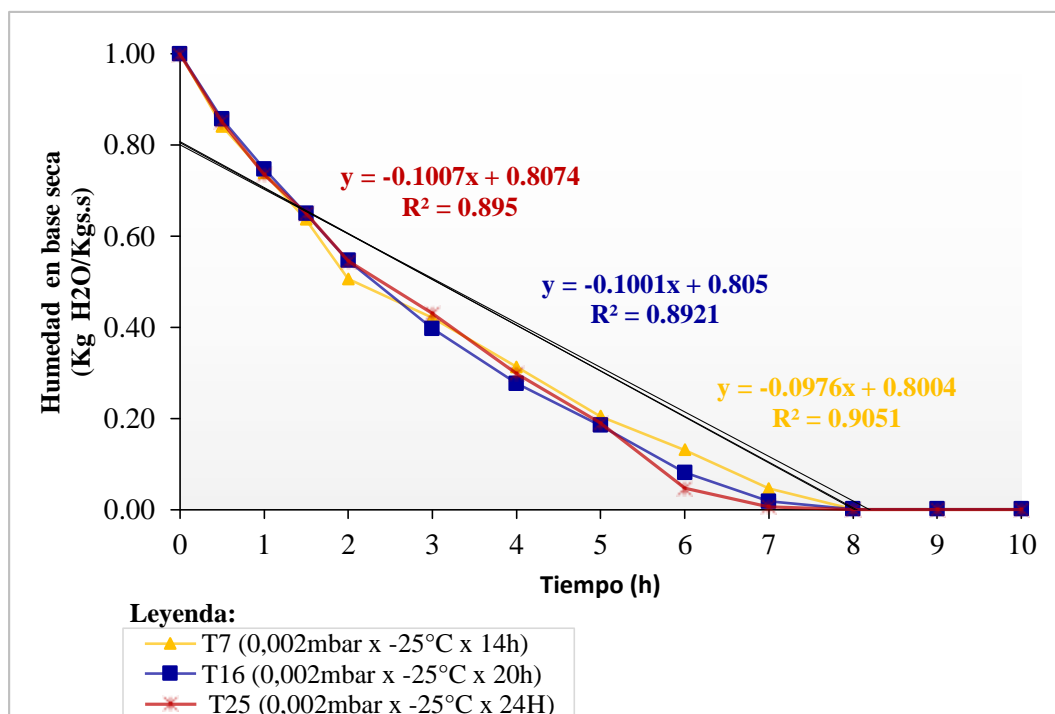


Figura 32. Cinética de pérdida de humedad para los veintisiete tratamientos.

Las muestras congeladas a  $-25^{\circ}\text{C}$ , se solidifican en menor tiempo, donde conservan mejor su forma tras ser desmoldado en comparación al congelamiento a  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $-15^{\circ}\text{C}$ , porque a medida que la muestra congelada esté más sólida espumeará menos, y cuando ingresó al proceso del liofilizado, se obtuvo al final del proceso un agente espesante en polvo con adecuadas características físicas.



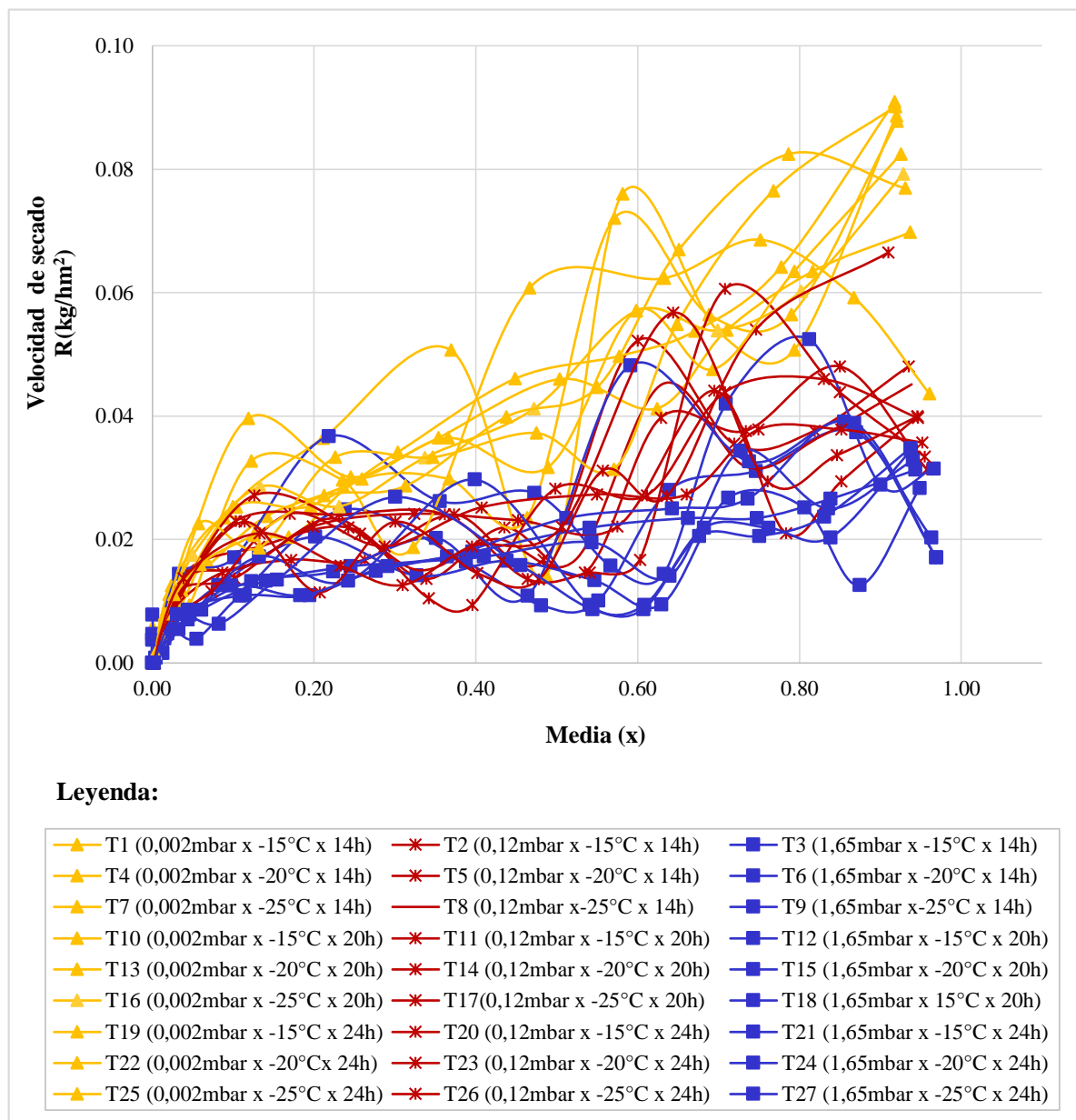
**Figura 33.** Cinética de pérdida de humedad en los tres mejores tratamientos.

En la figura 33 se presenta las curvas básicas de secado basadas en los tres mejores tratamientos como prioridad por conservar la vitamina C, T7 (0,002mbar x  $-25^{\circ}\text{C}$  x 14h), T16 (0,002mbar x  $-25^{\circ}\text{C}$  x 20h), y T25 (0,002mbar x  $-25^{\circ}\text{C}$  x 24h), el tiempo de congelación (14, 20 y 24h), no influye sobre el tiempo de secado, pero si sobre sus características nutritivas y organolépticas, porque mientras más tiempo de congelación tenga va a ir perdiendo en mayor cantidad sus características (Ver tabla 14 y 64).

### 3.3.2. Velocidad de secado

En la figura 34 se observan 27 curvas de velocidad de secado, en la cual podemos ver que mientras la presión sea más baja (0,002 y 0,12) mbar, tendrá un mejor comportamiento durante la pérdida de la humedad, en cambio cuando la presión es alta

(1.65mbar), la velocidad durante el secado será más lento. El comportamiento de la velocidad decreciente, resultado similar a lo obtenido por Lazo (2015), en la liofilización de pulpa de camu camu a una presión de 0,002 mbar por 14 horas, en cambio en el trabajo realizado por Huachuillca (2017) la presión de vacío fue 0.110 mbar, y el tiempo de liofilización fue de 19 horas.

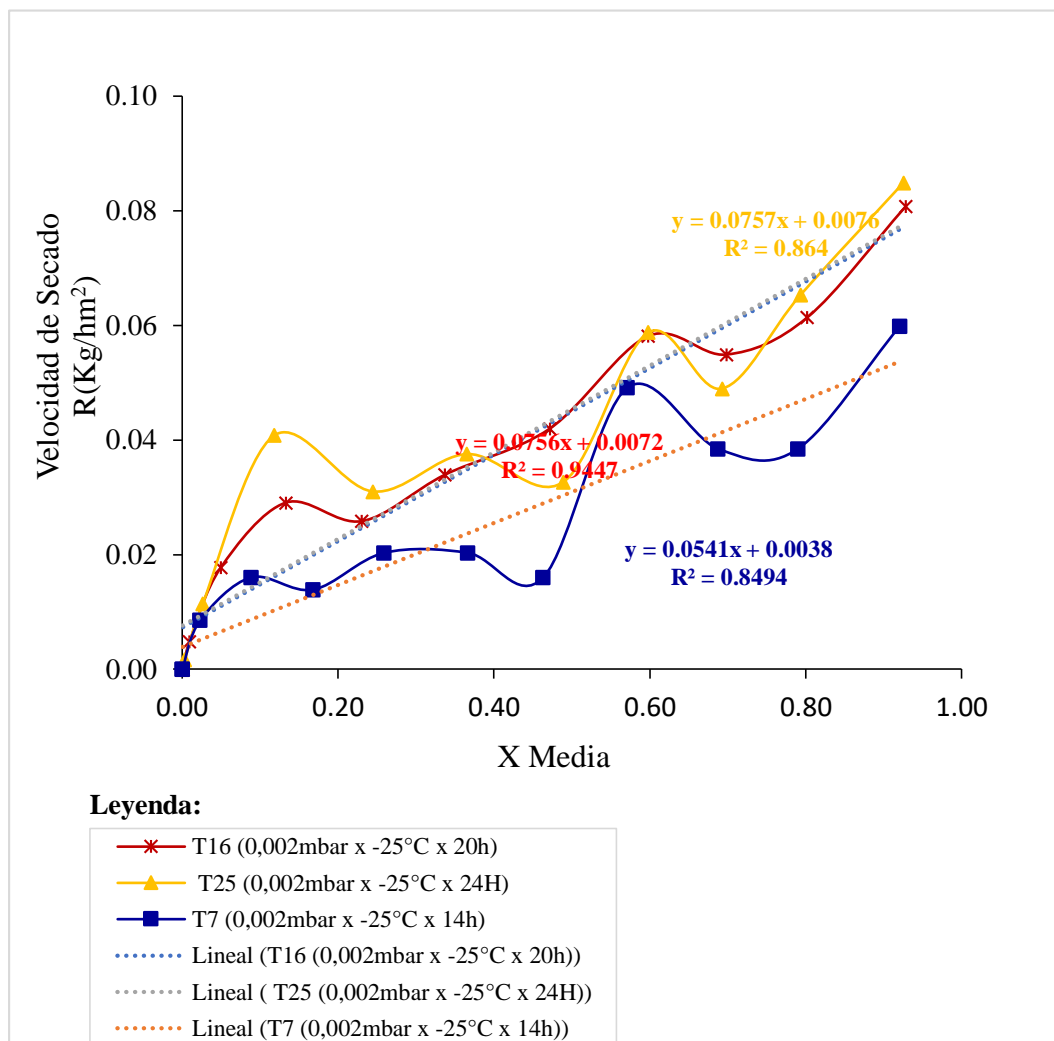


**Figura 34.** Velocidad de secado para los veintisiete tratamientos.

En la figura 35 se presenta los resultados de la velocidad de secado de la pulpa de cacao por liofilización (sublimación), basadas en los tres mejores tratamientos como prioridad por conservar la vitamina C, T7(0,002mbar x -25°C x 14h), T16(0,002mbar x -25°C x 20h), y T25(0,002mbar x -25°C x 24h), se puede ver que el tiempo de congelación



si influye sobre la velocidad de secado, pues a mayor tiempo de congelación (24h) se visualiza el mejor comportamiento decreciente.



**Figura 35.** Velocidad de secado de los tres mejores tratamientos.

### 3.4. Variación del color en el secado

En la tabla 11, podemos observar las medidas de color L, a\* y b\* de la pulpa liofilizada, para los 27 tratamientos. Se realizó el análisis de varianza de la medida de color L (Ver tabla 18), donde se determinó que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos. Al realizar las comparaciones múltiples de los promedios del efecto de cada factor con la prueba de Tukey, para la presión (0,002, 0,12 y 1,65mbar), se tuvo un  $p > 0,05$ , por lo tanto, no hubo diferencia significativa (Ver tabla 19), también para la temperatura (-15, -20 y -25°C) se obtuvo un  $p > 0,05$ , por lo tanto, la presión y temperatura no influyen en la medida de color L\* (ver tabla 20 y 21). Sin embargo, al comparar el

tiempo (14, 20 y 24h) se tiene un  $p < 0,05$ , que indica diferencia significativa, por lo que se determina que si influye sobre la medida de color L.

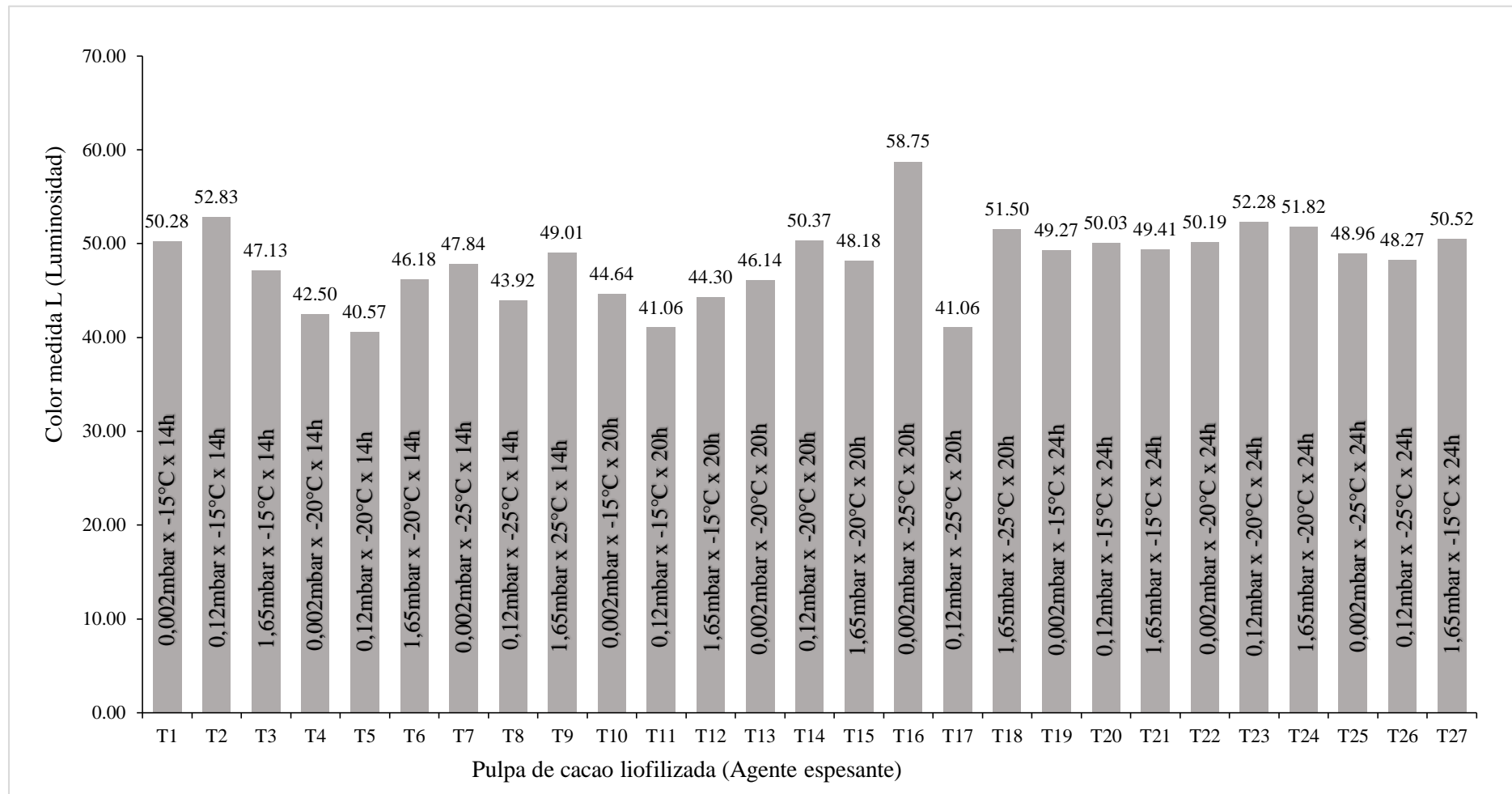
**Tabla 11**

*Medidas de color de la pulpa de cacao liofilizada*

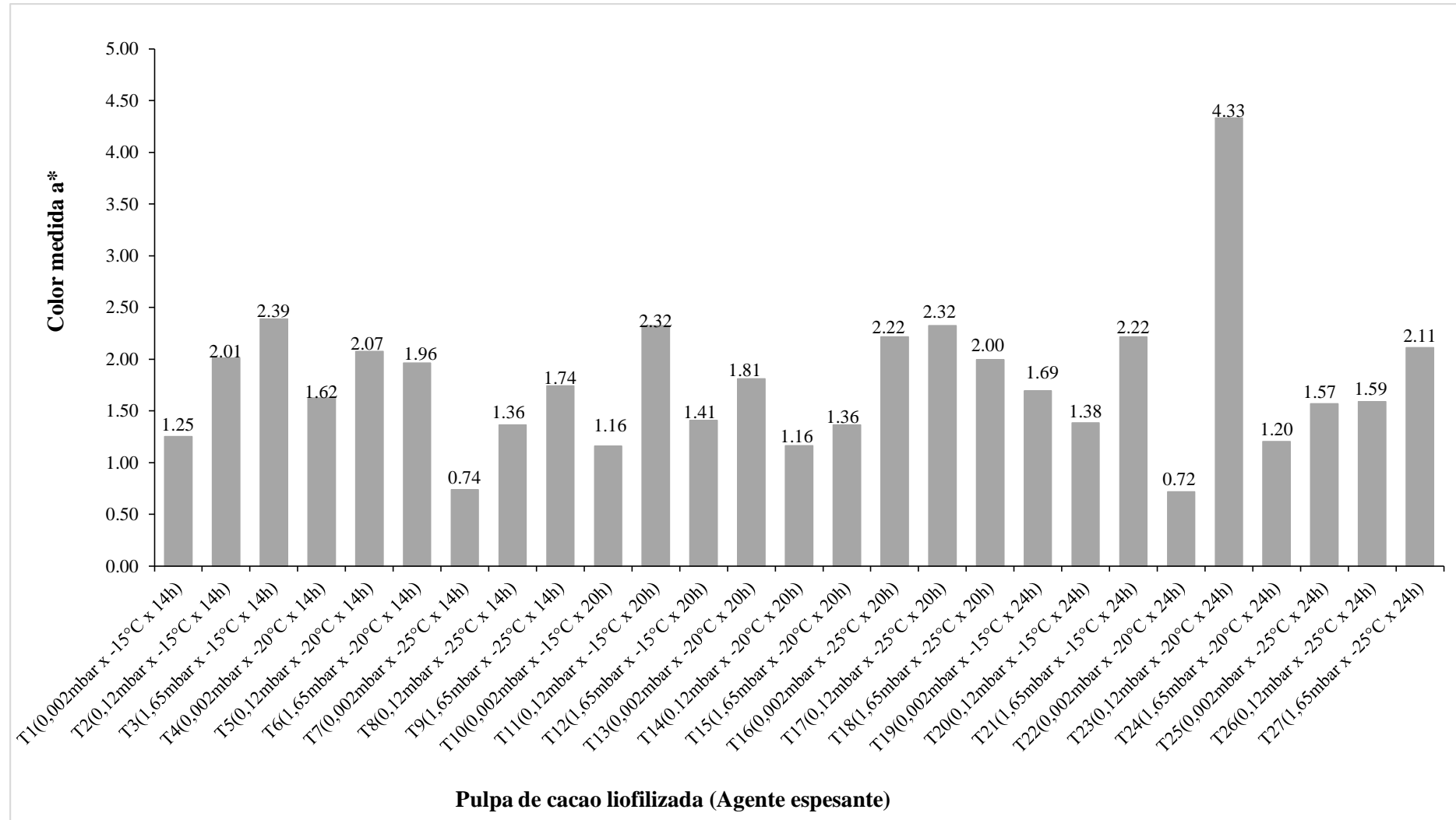
N°	Tratamiento	L*	*a	*b
1	0,002mbar x -15°C x 14h	50,28	1,25	8,31
2	0,12mbar x -15°C x 14h	52,83	2,01	11,55
3	1,65mbar x -15°C,14h	47,13	2,39	10,72
4	0,002mbar x -20°C x 14h	42,50	1,62	7,87
5	0,12mbar x -20°C x 14h	40,57	2,07	8,15
6	1,65mbar x -20°C x 14h	46,18	1,96	9,15
7	0,002mbar x -25°C x 14h	47,84	0,74	5,77
8	0,12mbar x -25°C x 14h	43,92	1,36	6,75
9	1,65mbar x -25°C x 14h	49,01	1,74	9,26
10	0,002mbar x -15°C x 20h	44,64	1,16	6,87
11	0,12mbar x -15°C x 20h	41,06	2,32	8,93
12	1,65mbar x -15°C x 20h	44,30	1,41	7,33
13	0,002mbar x -20°C x 20h	46,14	1,81	8,21
14	0,12mbar x -20°C x 20h	50,37	1,16	8,36
15	1,65mbar x -20°C x 20h	48,18	1,36	9,66
16	0,002mbar x -25°C x 20h	58,75	2,22	10,74
17	0,12mbar x -25°C x 20h	41,06	2,32	8,93
18	1,65mbar x -25°C x 20h	51,50	2,00	10,40
19	0,002mbar x -15°C x 24h	49,27	1,69	9,15
20	0,12mbar x -15°C x 24h	50,03	1,38	8,45
21	1,65mbar x -15°C x 24h	49,41	2,22	11,08
22	0,002mbar x -20°C x 24h	50,19	0,72	5,73
23	0,12mbar x -20°C x 24h	52,28	4,33	12,71
24	1,65mbar x -20°C x 24h	51,82	1,20	9,30
25	0,002mbar x -25°C x 24h	48,96	1,57	9,28
26	0,12mbar x -25°C x 24h	48,27	1,59	8,53
27	1,65mbar x -25°C x 24h	50,52	2,11	10,51

Se efectuó el análisis de varianza (Ver tabla 22) de la medida de color  $a^*$  donde se determinó que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos. Al realizar las comparaciones múltiples de los promedios del efecto de cada factor con la prueba de Tukey, entre la presión 0,002mbar y 0,12 mbar se tuvo  $p < 0,05$ , por lo que sí tuvo diferencia significativa, en cambio al comparar la presión 0,12 y 1,65 mbar no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) (Ver tabla 23), respecto a la temperatura (-15, -20 y -25°C) y el tiempo (14, 20 y 24 h) no presentaron diferencias significativas, dado que se presentó un  $p > 0,05$ ; por lo que se determinó que la temperatura y tiempo no influye sobre la medida de color  $a^*$  (Ver tabla 24 y 25). Referente al color los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en pulpa liofilizada hay una cierta variación en cuanto al color original, obteniéndose valores  $L^*$  entre 40,57 a 58,75, los valores de cromaticidad ( $a^*$ ) 0,72 a 4,33, (el color verde se encuentra por debajo de 0 y el rojo por encima de 0) donde los valores de  $a^*$  para la pulpa liofilizada fueron por encima de cero, es decir que la pulpa posee una a roja poco intenso, diferente en comparación de la coloración  $L^*$  y  $a^*$  de la pulpa frescas (ver tabla 11 y 9).

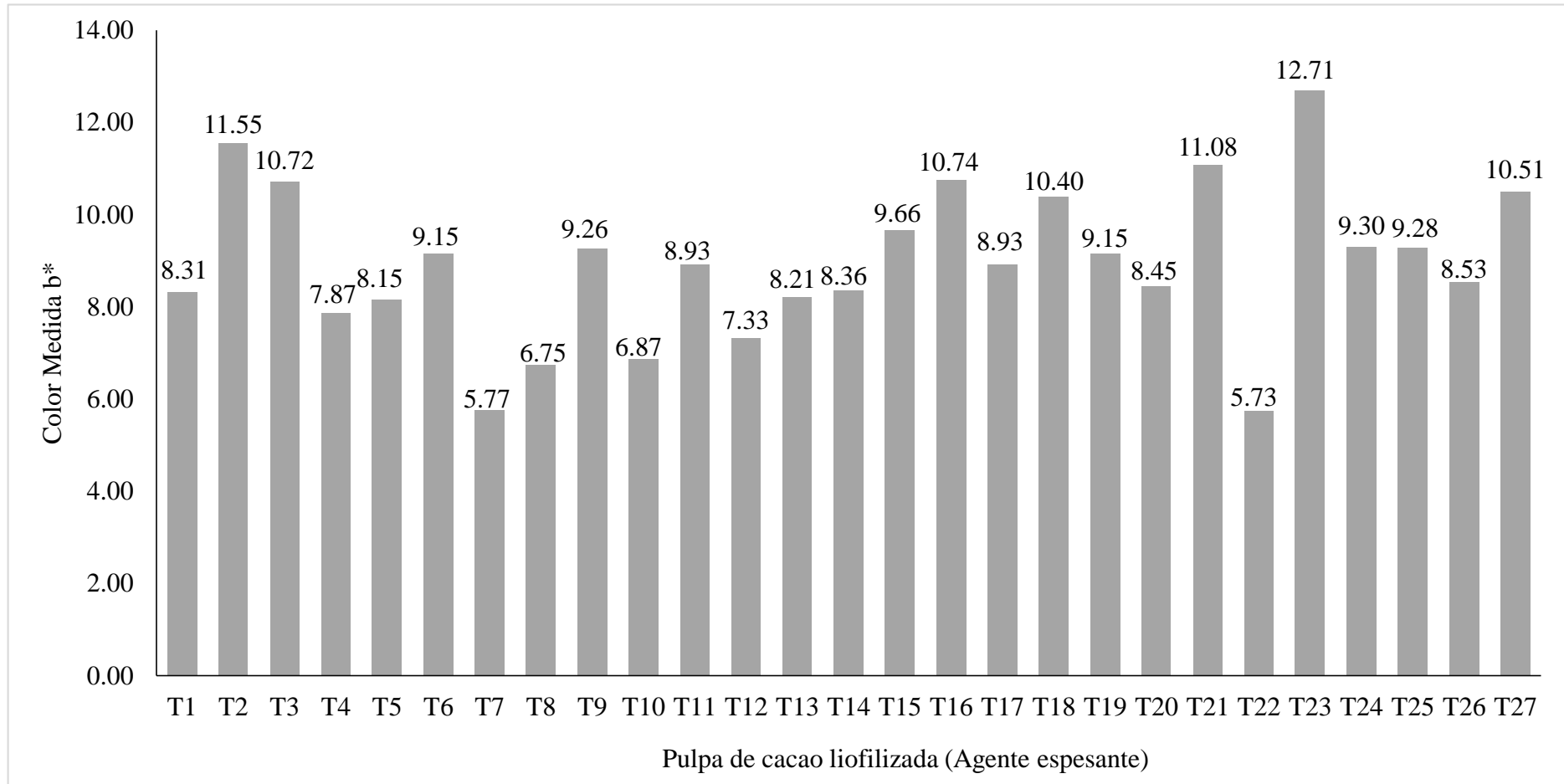
Se realizó el análisis de varianza (Ver tabla 26) de la medida de color  $b^*$  donde se determinó que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos. Al realizar las comparaciones múltiples de los promedios del efecto de cada factor con la prueba de Tukey, entre la presión 0,002mbar y 0,12mbar no existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ ), en cambio al comparar la presión 0,002 y 1,65 mbar, si hubo diferencia significativa ( $p < 0,05$ ), y al comparar entre los valores promedios de 0,12 y 1,65 mbar se tiene un  $p < 0,05$  que indica diferencia significativa entre ellas, respecto a la temperatura (-15, -20 y -25°C) y el tiempo (14, 20 y 24h) no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ); por lo tanto se determinó que la temperatura y tiempo no influye sobre la medida de color  $b^*$ , en cambio la presión si influye (Ver tabla 27, 28 y 29). Los valores de cromaticidad del color  $b^*$  se encuentren un rango de 9,66 a 10,40  $b^*$  azul (valores debajo de cero) y el amarillo (valores encima de cero), se puede observar que los valores son positivos y tienen tendencia a saturación amarilla, similares a los valores  $b^*$  de la pulpa fresca.



**Figura 36.** Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color L\* de la pulpa liofilizada (Agente espesante).



**Figura 37.** Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color a\* de la pulpa liofilizada (Agente espesante).



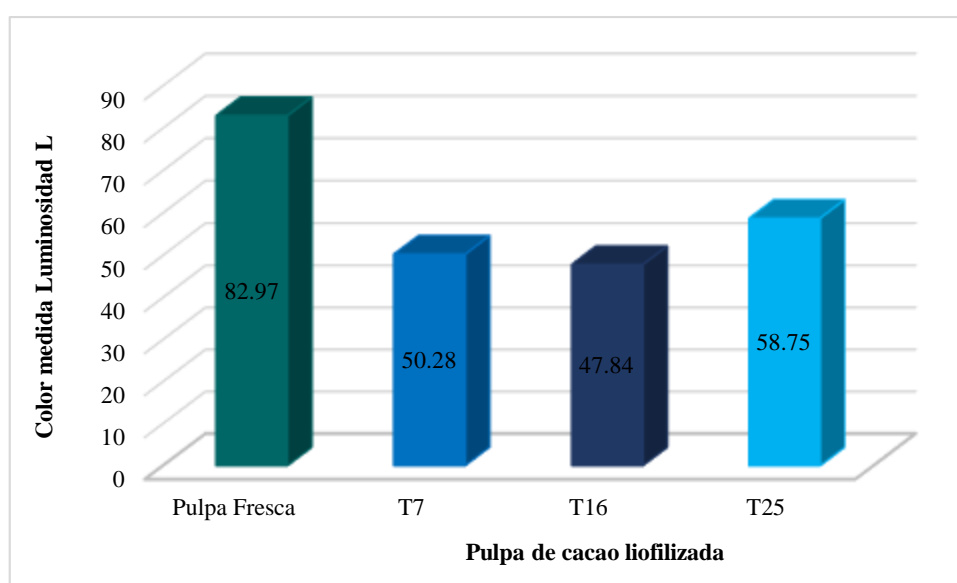
**Figura 38.** Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color b\* de la pulpa liofilizada (Agente espesante).

**Tabla 12**

*Medidas de color L\*, a\* y b\* para los tres mejores tratamientos*

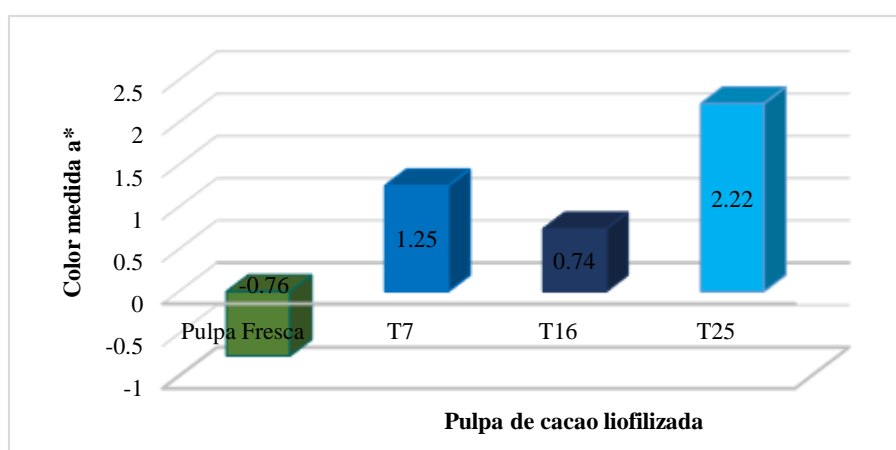
N°	Tratamiento	L*	*a	*b	IC
	Pulpa Fresca	82,97	-0,76	9,45	-0,95
7	0,002mbar x -15°C x 14h	50,28	1,25	8,31	3,77
16	0,002mbar x -25°C x 14h	47,84	0,74	5,77	2,66
25	0,002mbar x -25°C x 20h	58,75	2,22	10,74	3,51

En la figura 39, se visualiza el efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el color L (Luminosidad), de la pulpa de cacao a condiciones de liofilizado. Al comparar cada uno de los mejores tratamientos T7, T16 y T25,  $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ , por lo tanto, no hay diferencia significativa (Ver Anexo 4), pero al comparar con los valores de la pulpa fresca (89,97) se encontró mucha variación, ya que la pulpa fresca tiene valores cercanos a 100, es decir tiene una coloración cercana a blanco, representando mucha variación respecto a los valores de T7, T16 y T25 entre 48,18 y 51,7 que va de blanco a negro del color L\* luminosidad (variación color negro y blanco; siendo 0 el color negro y 100 el color blanco), respecto a los valores de la mezcla en jugo fresco de maracuyá y camu camu estuvieron en un rango (12 y 13) de color oscuro (Obregón, 2019).



**Figura 39.** Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color L\* de la pulpa de cacao a condiciones de liofilizado.

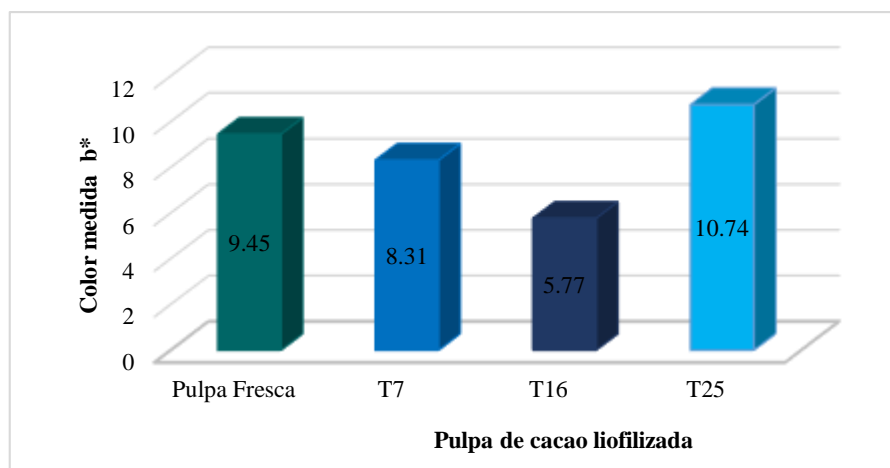
En la figura 40, se visualiza el efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en la medida de color  $a^*$ , de la pulpa de cacao a condiciones de liofilizado. Al comparar cada uno de los mejores tratamientos T7, T16 y T25,  $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ , por lo tanto, no hay diferencia significativa (Ver Anexo 5), pero al comparar con los valores de la pulpa fresca -0,76 de cromaticidad ( $a^*$ ) fueron por debajo de cero, es decir posee una coloración de saturación verde, diferente respecto a T7, T16 y T25, con valores entre 0.74 y 2.22 por encima de cero y, por lo tanto, una coloración con saturación roja. En el estudio realizado por Obregón (2019) obtuvo una ligera coloración roja con valores entre 1,7 a 4,5 en la mezcla del jugo de camu camu y maracuyá.



**Figura 40.** Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color  $a^*$  de la pulpa de cacao a condiciones de liofilizado.

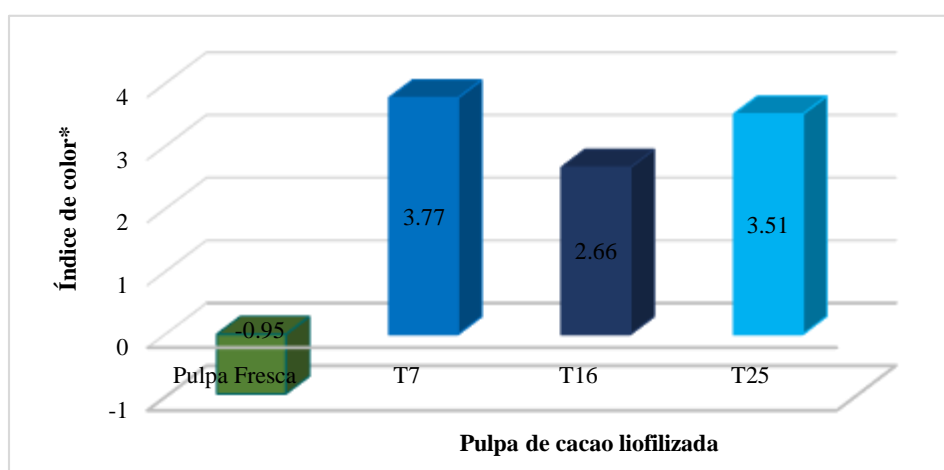
En la figura 41, se visualiza el efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el color medida de  $b^*$ , de la pulpa de cacao. Al comparar cada uno de los mejores tratamientos T7, T16 y T25,  $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ , por tanto, no hay diferencia significativa (Ver Anexo 6), pero al comparar con los valores de la pulpa fresca con T7, T16 y T25, no hubo mucha variación, pues están por encima de cero, es decir posee una coloración de saturación amarilla. No obstante, al comparar los valores de la pulpa fresca 9,45 con T7, T16 y T25, valores que están entre 8,31 y 10,74, poseen una coloración de saturación amarilla. Así mismo los valores de  $b^*$  en la mezcla de jugos de maracuyá y camu camu tuvo el tono hacia amarillo con valores que van de 4,72 a 7,58 (Obregón, 2019).





**Figura 41.** Efecto de la presión, tiempo y temperatura de congelación en el parámetro de color b\* de la pulpa de cacao a condiciones de liofilizado.

En la figura 42, se visualiza los índices de color de la pulpa fresca y los tres mejores tratamientos. El índice de color quien describe la coloración de la epidermis de la fruta englobando L, a\* y b\* (García et al., 2011). Al comparar T7, T16 y T25,  $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ , por lo tanto, no hay diferencia significativa (Ver Anexo 7), sin embargo, al comparar con los valores de la pulpa fresca si hubo variación, porque los valores de T7, T16 y T25 están por encima de cero con valores entre 2,66 y 3,77, teniendo coloración de amarillo pálido (+2 a +20, van desde el amarillo pálido al naranja intenso). Y en la pulpa fresca -0,95 coloración amarillo verdoso (-2 a +2, representa el amarillo verdoso), Asimismo la pulpa liofilizada de camu camu se relacionan con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo (Lazo, 2015).



**Figura 42.** Comparación de los índices de color de la pulpa fresca y los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada.

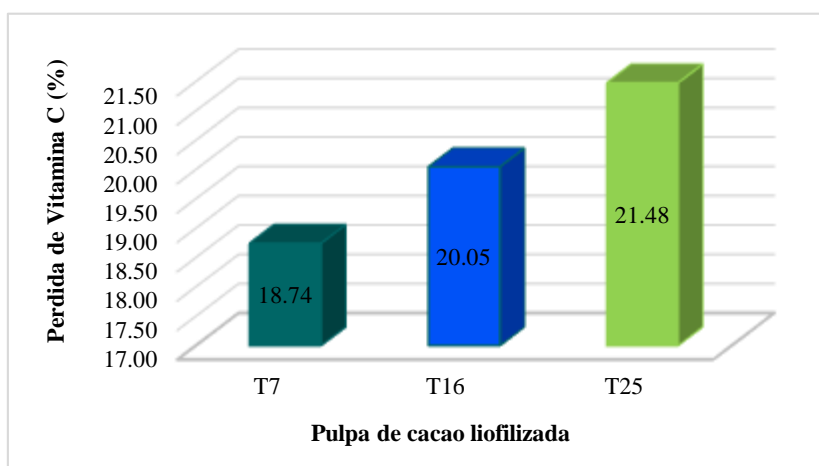
### 3.5. Pérdida del contenido de vitamina C, durante el secado

**Tabla 13**

*Contenido de vitamina C en la pulpa de cacao fresca y liofilizada*

Combinación tratamientos	Tratamientos	Calculado	Unidades	
	M.P fresca	16.734	µg/ml	Ácido ascórbico
0.002mbar x -25°C x 14 H	T7	13.60	µg/ml	Ácido ascórbico
0.002mbar x -25°C x 20 H	T16	13.38	µg/ml	Ácido ascórbico
0.002mbar x -25°C x 24 H	T25	13.14	µg/ml	Ácido ascórbico

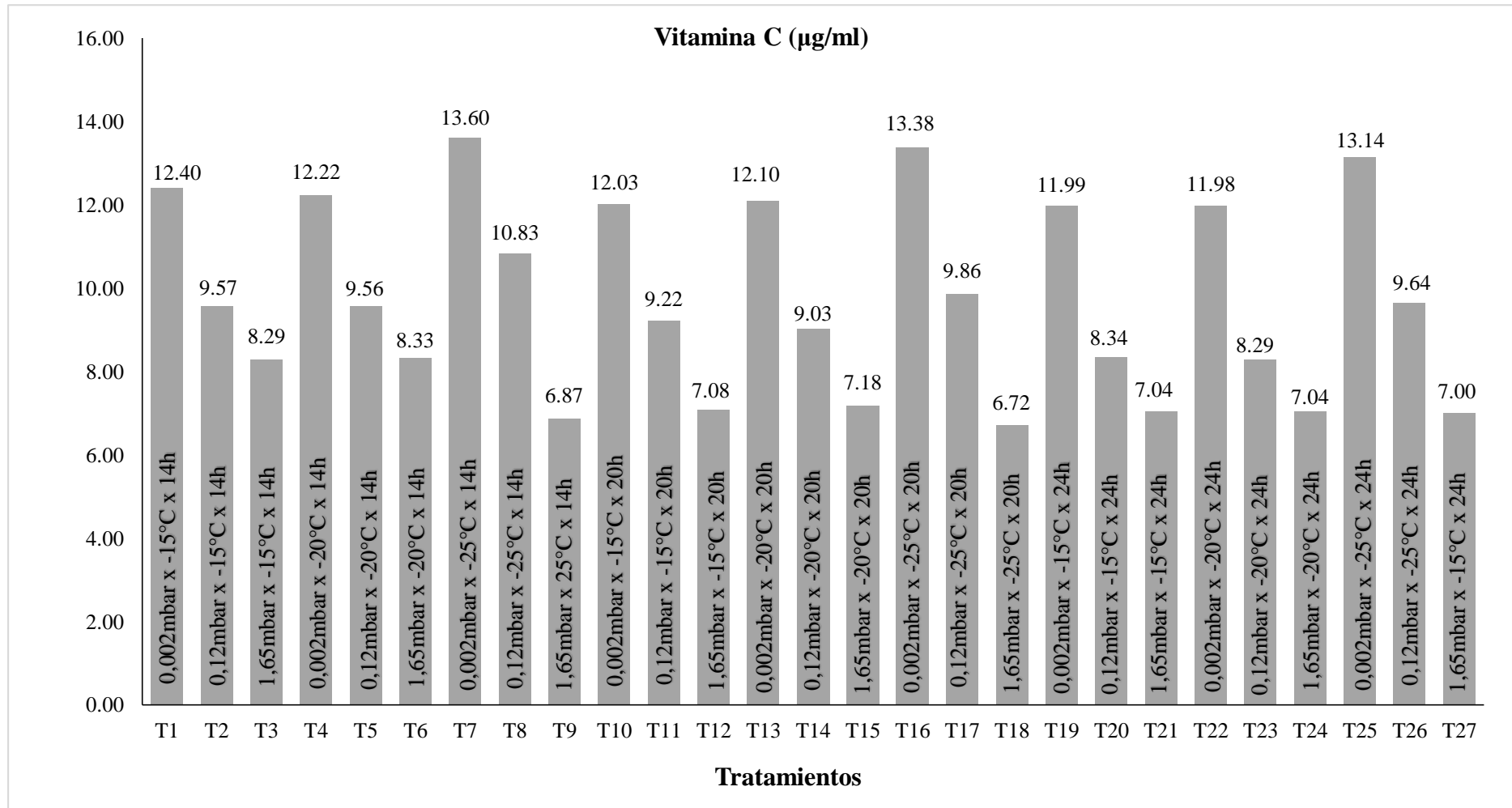
En la figura 43 se presentan valores de pérdida de vitamina C (%), obtenidas del secado por liofilización frente a una muestra inicial testigo (pulpa fresca de cacao), obteniendo como mejor tratamiento al N°1 (0,002mbar x -25°C x 14 h), ya que tuvo una pérdida mínima del 18,74% seguido de N°2 (0,002mbar x -25°C x 20h) con 20,05% de pérdida y N°3(0,002mbar x -25°C x 24h) con 21,48% que resultó con mayor pérdida de vitamina C entre los tres mejores tratamientos.



**Figura 43.** Comparación de pérdida de vitamina C en la liofilización de la pulpa de cacao de los tres mejores tratamientos.

En la figura 44 se presenta el contenido de vitamina C, que tiene la pulpa de cacao liofilizada para los 27 tratamientos. Al comparar cada uno de los tratamientos se puede ver que entre el factor (temperatura x tiempo), tuvo una significancia de 0,110, mayor de 0,05, por lo que se acepta la hipótesis nula, es decir estos 2 factores no influyen sobre la pérdida de vitamina C, sin embargo, al comparar la influencia sobre la vitamina C de los

factores (presión \*temperatura), (presión \*tiempo) y (presión \*temperatura \*tiempo) tuvo una significancia de 0,000, menor de 0,05, es decir hubo diferencia significativa (Ver Anexo 8). Y al realizar las comparaciones de medias marginales, se tuvieron los mejores resultados tuvo T7 (0,002mbar x -25°C x 14h) con 13,597 µg/ml. Pues la vitamina C es termolábil e inestable que se oxida fácilmente (Ramos et al., 2002), siendo por lo tanto, la liofilización un método de secado con temperaturas de trabajo que impide la alteración de productos termolábiles (Pardo y Mauricio, 2002), cumpliendo con lo mencionado por Lazo (2015), que a una presión 0,002 mbar se tuvo menos pérdida de vitamina C.



**Figura 44.** Efecto de la presión, Temperatura y tiempo de congelación en la vitamina C de la pulpa de cacao.

Al realizar las comparaciones múltiples de Tukey (Ver tabla 40), Se puede observar que comparando el factor presión (0,002mbar, 0,12mbar, 1,65mbar) tuvo una significancia de  $0,000 < 0,05$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se constata que las diferentes presiones si influyen sobre la pérdida de vitamina C. Al comparar el factor temperatura entre  $-15^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$ , se tuvo una significancia de  $0,999 > 0,05$ , por lo que se acepta la hipótesis nula, y se constata que estas temperaturas no influyen sobre la pérdida de vitamina C (Ver tabla 41), en cambio comparando entre  $-15^{\circ}\text{C}$  y  $-25^{\circ}\text{C}$  tuvo una significancia de  $0,000 < 0,05$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se constatan que si influyen en la pérdida de vitamina C. Además, al comparar el factor tiempo entre 14, 20 y 24 horas hubo una significancia  $0,000 < 0,05$  y  $0,003 < 0,05$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula, constatando que si influyen sobre la pérdida de vitamina C (Ver tabla 42).

### 3.6. Características fisicoquímicas del agente espesante (Pulpa de cacao liofilizada) en polvo de los tres mejores tratamientos.

En la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos en el análisis proximal de las tres mejores muestras liofilizadas.

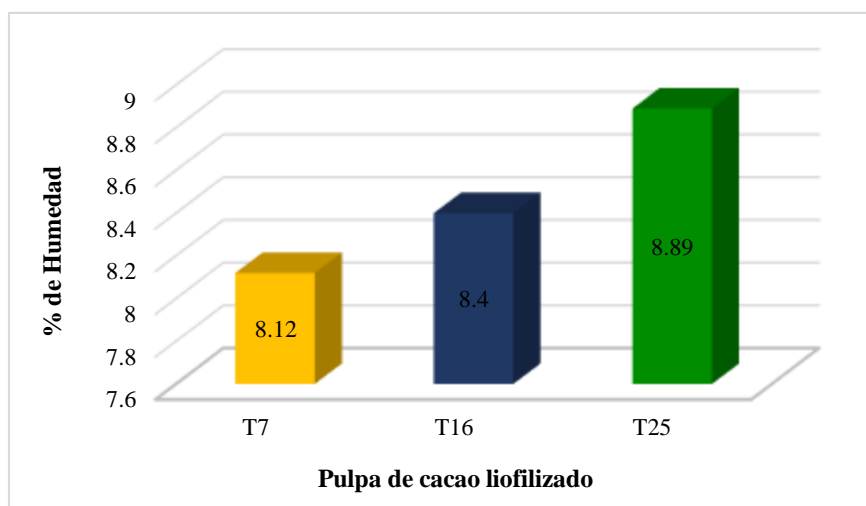
**Tabla 14**

*Análisis proximal de la pulpa de cacao (Agente espesante)*

Análisis	Tratamientos		
	T7	T16	T25
%Humedad	8,12±0,87	8,40±0,34	8,89±0,18
%Ceniza	7,72±0,32	7,74±0,34	7,16±0,18
%Fibra	40,10±0,28	39,52±1,20	39,74±0,82
%Proteína	7,41±0,42	8,08±0,33	8,18±0,51
%Grasa	8,47±0,65	8,19±0,26	8,14±0,08
%Carbohidratos	28,19±1,06	28,06±1,68	27,89±0,65
Energía (Kcal)	218,60±0,10	218,32±3,09	217,57±1,32

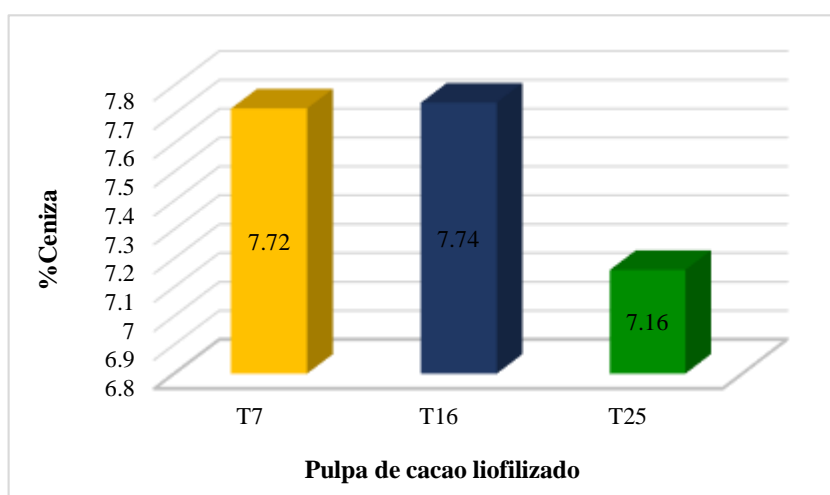
En la figura 45, se puede observar el % de humedad, para cada uno de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada: 8,12% (T7), 8,4% (T16) y 8,89% (T25). Al comparar T7, T16 y T25 no hubo diferencia significativa ( $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ ). (Ver Anexo 9). La materia prima tuvo 89,06% de Humedad reduciéndose una humedad en base seca de 2,5 a 4,79 (ver tabla 66), que tras ser almacenada por un cierto tiempo rápidamente gana humedad por las características que tiene este producto, los tres

tratamientos cuya humedad estuvo entre 8,12 y 8,89, las que fueron utilizadas para la realización del análisis proximal; y esto concuerda con la humedad del liofilizado de camu camu 8,70% reportado por Lazo (2015). Sin embargo, esta muestra liofilizada no tiene las mismas características como la pulpa de cacao que tuvo poca humedad, pero que a medida que pasó el tiempo fue ganando humedad.



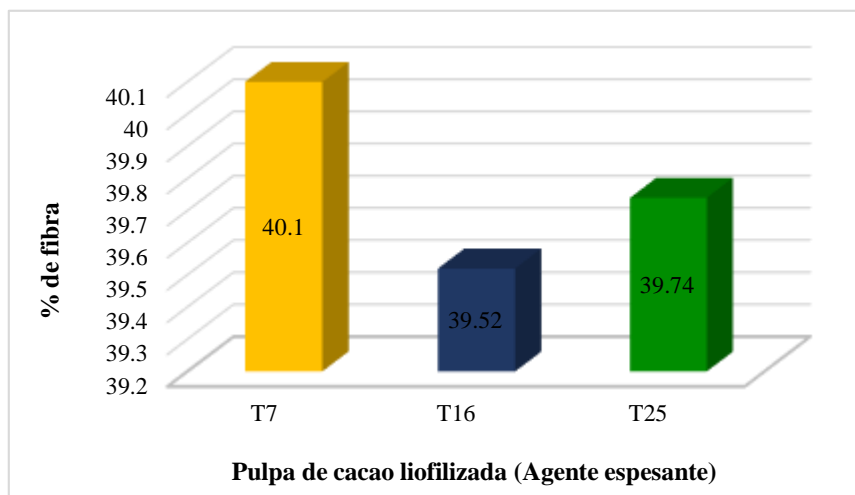
**Figura 45.** Porcentaje de humedad (%) en la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).

En la figura 46, se observa el % ceniza de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada: 7.72 % (T7), 7.74% (T16) y 7.16% (T25). Al comparar T7, T16 y T25 no hubo diferencia significativa ( $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ ). (Ver Anexo 10). Sin embargo, el contenido de ceniza entre 7,16 y 7,72, concuerda con el porcentaje de ceniza presentes en la cáscara de cacao 7,42%, resultado obtenido por Calderon (2017).



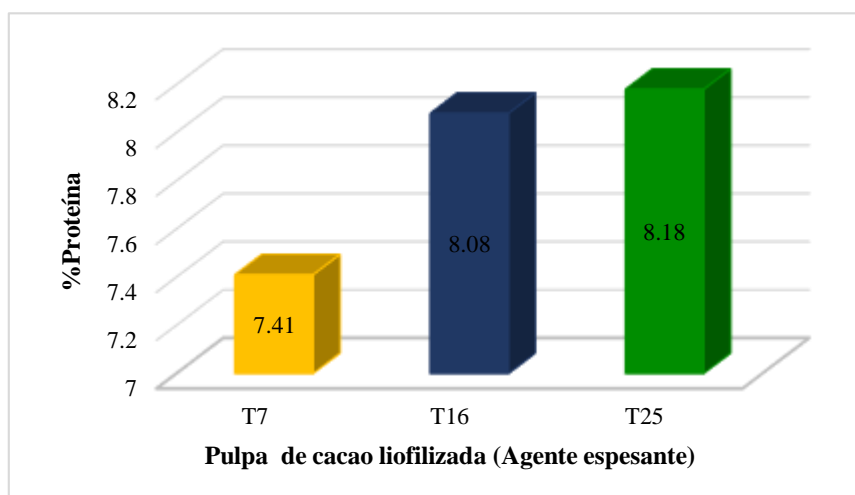
**Figura 46.** Porcentaje de ceniza (%) en la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).

En la figura 47, se puede observar el % de fibra de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada: 40,1% (T7), 39,52% (T16) y 39,74% (T25). Al comparar T7, T16 y T25 no hubo diferencia significativa ( $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ ). (Ver Anexo 11). Sin embargo, el contenido de fibra está entre 39,52 y 40,1%, mayor que en la cáscara de cacao 5,45% resultado obtenido por Mejía y Argüello (2000).



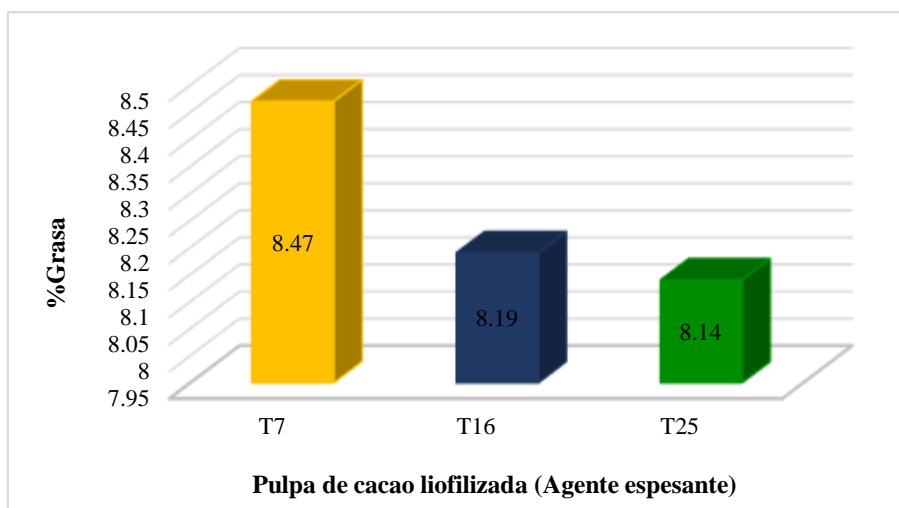
**Figura 47.** Porcentaje de fibra (%) en la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).

En la figura 48, se puede observar el % de proteína de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada: 7,41 % (T7), 8,08% (T16) y 8,18% (T25). Al comparar T7, T16 y T25 no hubo diferencia significativa ( $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ ). (Ver Anexo 12). Sin embargo, contenido de proteínas está entre 7,41 y 8,18 %, mayor que el contenido de proteína en la cáscara de cacao 1,07 % resultado obtenido por Mejía y Argüello (2000).



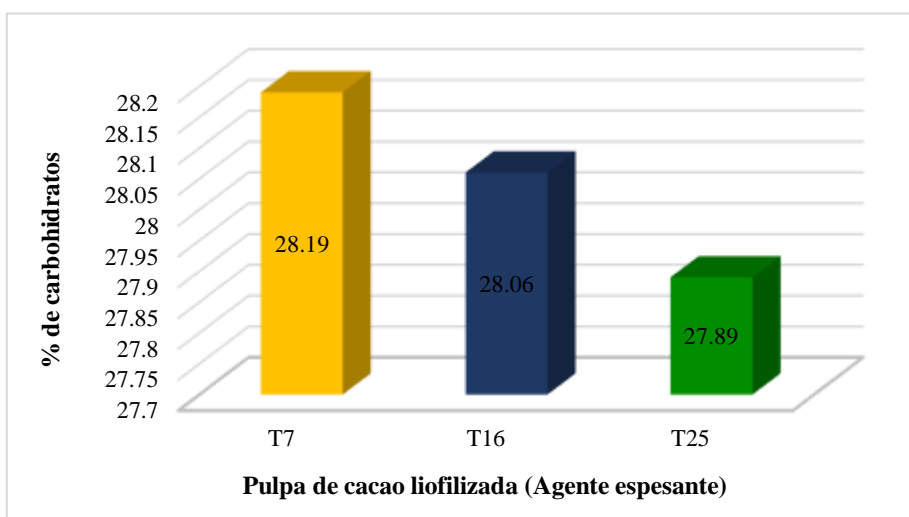
**Figura 48.** Porcentaje de proteína (%) en la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).

En la figura 49, se puede observar el % de grasa de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada: 8,47 % (T7), 8,19% (T16) y 8,14% (T25). Al comparar T7, T16 y T25 no hubo diferencia significativa ( $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ ). (Ver Anexo 13). Sin embargo, el contenido grasa es mayor al que tiene la cáscara de cacao 5,45% resultado obtenido por Mejía y Argüello (2000).



**Figura 49.** Porcentaje de grasa (%) en la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).

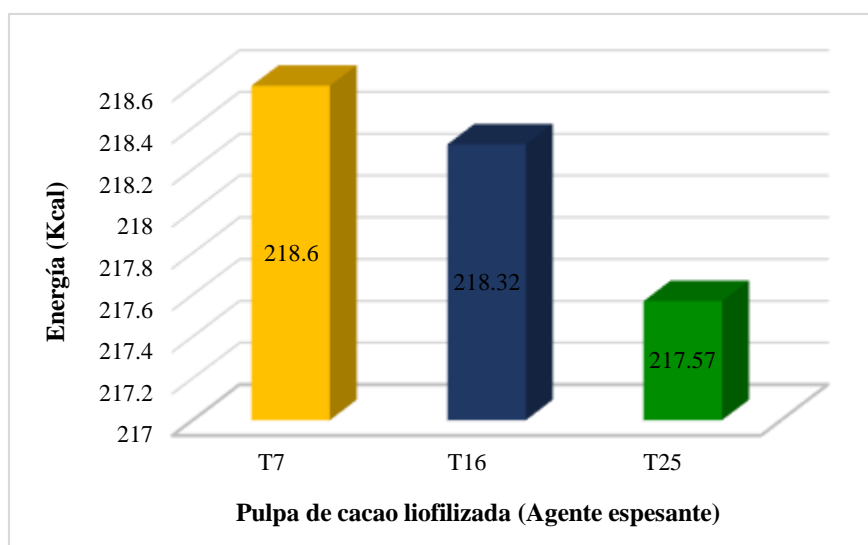
En la figura 50, se puede observar el % de carbohidratos de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada: 28,19 % (T7), 28,06% (T16) y 27,89% (T25). Al comparar T7, T16 y T25 no hubo diferencia significativa ( $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ ). (Ver Anexo 14). Sin embargo, el contenido de carbohidratos fue mayor que el que tiene la cáscara de cacao 7,05% resultado obtenido por Mejía y Argüello (2000).



**Figura 50.** Porcentaje de carbohidratos (%) en la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).



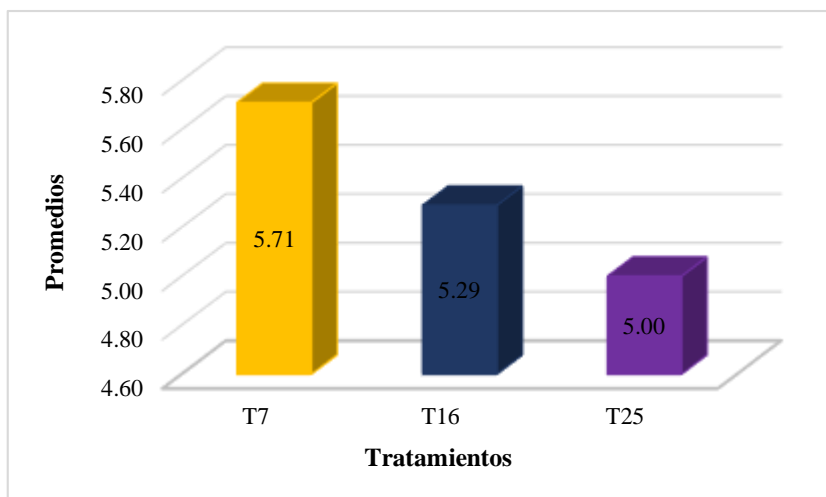
En la figura 51, se puede observar la cantidad de kcal que tienen los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada: 218,60% (T7), 218,32% (T16) y 217,57% (T25). Al comparar T7, T16 y T25 no hubo diferencia significativa ( $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ ). (Ver Anexo 15). No obstante, al contenido de energía en la pulpa liofilizada es mucho menos a la que tiene el cacao en polvo 255 kcal, resultado obtenido por Sinche (2011).



**Figura 51.** Cantidad de energía (Kcal) que tiene la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).

### 3.7. Evaluación sensorial del néctar de cocona, utilizando como espesante la pulpa de cacao liofilizada.

En la figura 52 se graficó el atributo de apariencia general del néctar de cocona elaborados con las tres mejores muestras de pulpa de cacao liofilizada., donde T7 tuvo mayor aceptabilidad, seguido de T16 y T25. Al comparar T7, T16 y T25, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos ( $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{calculada}}$ ). (Ver Anexo 16).



**Figura 52.** Atributo de apariencia general del néctar de cocona elaborados con las tres mejores muestras.

Cabe mencionar que el agente espesante al ser aplicado en la preparación de mazamorra morada (ver Anexo 28), se puede observar que no le brinda la consistencia y viscosidad deseada, pues no logra aumentar su concentración y viscosidad, característico de un espesante (Multon, 1999), sin embargo, al utilizar este espesante en el néctar de cocona se percibió un comportamiento similar al CMC, pues tiene buena solubilidad, ya que logra unir las dos fases agua y componentes (Schmidt-Hebbel, 1990). Además, cabe mencionar que, este agente espesante tiene un olor y sabor agradable, aunque poco pronunciado, debido a que tiene un sabor casi neutro. Cabe mencionar, que en la evaluación sensorial del néctar de cocona, la mayoría de los jueces percibieron el sabor y aroma agradable que le brinda los granos y el mucílago de cacao a esta pulpa, lo que le hace diferente de los demás espesante utilizados actualmente en la industria alimentaria.

## CONCLUSIONES

1. Se determinaron las condiciones adecuadas de procesamiento para la obtención de un agente espesante a partir de la pulpa de cacao y se obtuvo como resultado que a presión baja se efectúa mejor la liofilización, obteniendo en menor tiempo (menor gasto de energía) una pulpa con 18,74 0% de pérdida mínima de vitamina C con una humedad en base seca de 2,64%, y un IC de 3,77. Asimismo estos tratamientos N°7 (0,002mbar x -25°C x 14h), N°16 (,002mbar x -25°C x 20h) y N°25 (0,002mbar x -25°C x 24h) se consideraron como los mejores tratamientos como prioridad de conservar la vitamina C.
2. Se determinó que, de los tres mejores tratamientos en la caracterización fisicoquímica de la pulpa de cacao liofilizada, el N°7 (0,002mbar x -25°C x 14h) fue el que conservó en mayor cantidad el contenido nutricional (%fibra, %proteína, % de grasa y % de carbohidratos) de la pulpa de cacao, pues, a mayor tiempo de congelación se tendrá mayor pérdida de nutrientes.
3. El mejor tratamiento en la evaluación sensorial coincidió con el mejor tratamiento para la conservación de nutrientes y color, pues a menor presión (0,002mbar), temperatura de congelación (-25°C) y tiempo (14h) mejora sus características físico-químicas y organolépticas, por lo que se concluye que el mejor tratamiento fue T7 (0,002mbar x -25°C x 14h).
4. Se determinó que la pulpa de cacao liofilizada al aplicarla en un producto no brinda un aumento en la viscosidad y tampoco en el efecto gelificante, por lo que se podría conservar un espesante, sin embargo, es un sustituyente con características similares al CMC, porque mantiene plenamente mezclados los componentes del néctar de cocona.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar estudios utilizando otro método de secado donde demande menos consumo de energía, ya que las cantidades de nutrientes que posee son mínimas y al ser sometido a altas temperaturas se pierde gran parte de vitamina A y C.
2. Efectuar estudios utilizando la pulpa de cacao liofilizada en la elaboración de un producto diferente como un insumo más, ya que esta pulpa le proporcionará un sabor diferente.
3. Realizar ensayos controlando el espesor y tiempo de liofilizado mayor a ocho horas.
4. Incentivar a los estudiantes a realizar más investigaciones aprovechando cada una de las partes del fruto del cacao, de esa manera habrá menos residuos y generará mayores ganancias para el agricultor.
5. Desarrollar una investigación sobre la rentabilidad del agente espesante obtenido de la pulpa liofilizada.
6. Realizar una investigación, sobre el análisis del contenido de pectina en la pulpa de la cáscara de cacao (endocarpo).
7. Utilizar la pulpa liofilizada de cacao como esencia para la elaboración de refrescos,

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J. (2012). *Métodos de conservación de alimentos*. Estado de México: Red Tercer Milenio S.C.
- Alvarado, J. (1996). *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos*. Quito, Ecuador: Ed. Radio Comunicaciones OEA.
- A.O.A.C. (2000). *Official Methods of Analysis* (17<sup>a</sup> ed.). Virginia, USA: Association official Analytical Chemist.
- A.O.A.C. (2012). *Official Methods of Analysis* (19<sup>a</sup> ed.). Virginia, USA: Analytical Chemists, Inc.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4<sup>a</sup> ed.). México: Editorial Pearson Education.
- Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). *La cáscara de cacao (Theobroma cacao L.): Una posible fuente comercial de pectinas*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 58(1), 64–70.
- Barret, D., Somogyi, L., & Ramaswamy, H. (2005). *Processing Fruits Science and Technology* (2<sup>a</sup> ed.). Washington D. C., Estados Unidos: CRS Press.
- Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Madrid: Mundi Prensa.
- Brennan, J. (1980). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. Zaragoza: Editorial Acirbia, S.A.
- Calderon, K. (2017). *Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) variedad CCN - 51 procedente del distrito de Pajarillo - provincia de Mariscal Cáceres* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín: Tarapoto, Perú.
- Ceballos, A. (2008). *Estudio comparativo de tres sistemas de para la producción de un polvo deshidratada de fruta* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

- CEPLAC. (1984). *Aproveitamento dos recursos de empresa cachoeira*. Brasil: Ilhéus B.A. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira.
- Chacón, T., & Esquivel, P. (2013). *Frutos tropicales como fuente de carotenoides: biosíntesis, composición, biodisponibilidad y efectos del procesamiento*. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 4(1), 1–23.
- Chevalier, D., Le Bail, A. & Ghoul, M. (2000). *Freezing and ice crystals formed in a cylindrical food model: Part I. Freezing at atmospheric pressure*.
- Chire, T., & Dávila, R. (2014). *Evaluación del contenido de vitamina C, taninos condensados y capacidad antioxidante después de un tratamiento a tres temperaturas de los frutos de carambola (Averrhoa carambola L.)*. Anales Científicos, 75(2), 370–379.
- De La Mota, I. (2007). *El libro del chocolate* (2ª ed.). Madrid, España: Ediciones Pirámide.
- Del Aguila, D., & Zegarra, D. (2016). *Extracción de pectina por hidrólisis ácida y precipitación alcohólica a partir de las cáscaras de cacao híbrido CCN51 (Theobroma cacao L.) para la fabricación de un prototipo de empaque alimentario, Pucallpa, Región Ucayali 2015* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia: Pucallpa, Perú.
- Díaz, J., & Santana, J. (2009). *Cuantificación de Hierro, zinc, calcio y vitamina “A” en leche de soya en polvo, de tres marcas comercializadas en los alrededores del centro urbano. “ José Simeon Cañas ”* (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador: Centro América.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2011). *Hoja botánica: Cacao* (Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú). Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Nicolas\\_Dostert/publication/321796507\\_Hoja\\_botanica\\_Cacao\\_-\\_Theobroma\\_cacao\\_L/links/5a323af40f7e9b2a2861449b/Hoja-botanica-Cacao-Theobroma-cacao-L.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Nicolas_Dostert/publication/321796507_Hoja_botanica_Cacao_-_Theobroma_cacao_L/links/5a323af40f7e9b2a2861449b/Hoja-botanica-Cacao-Theobroma-cacao-L.pdf?origin=publication_detail)

- Franco, M., Ramírez, M., García, R., Bernal, M., Espinosa, B., Solís, J., & Durán, C. (2010). *Reaprovechamiento integral de residuos agroindustriales: Cáscara y pulpa de cacao para la producción de pectinas*. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 1(2), 45–66.
- Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos* (2ª ed.). Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- García, Y., García, A., Hernández, A., & Pérez, J. (2011). *Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 12–16.
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de Transporte y operaciones unitarias* (3ª ed.). México: CECSA.
- Gómez, G., Chávez, N., Sagástume, B., Murillo, S., Fernández, A., & Ulate, G. (2001). *Consumo de micronutrientes con función antioxidante en estudiantes de la Universidad de Costa Rica con edades comprendidas entre 17 y 19 años*. *Acta Pediátrica Costarricense*, 15(1), 24–28.
- Hardy F. (1960). *Manual del cacao*. IICA. Turrialba, Costa Rica.
- Huachuillca, D. (2017). *Efecto de liofilización sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en la pulpa de aguaymanto (Physalis peruviana L.)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional José María Arguedas: Apurímac, Perú.
- Ibáñez, F., Torre, P., & Irigoyen, A. (2003). *Aditivos alimentarios*. Universidad Pública de Navarra, España.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. (2009). *Manejo integrado del cultivo de cacao* (2ª ed.). Lima, Perú: Ministerio de Agricultura - Serie Folleto N°4 - 09.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (1978). *Alimentos - Determinación de humedad* (NCh841.Of78). Santiago: Norma Chilena 841.
- ITESCAM. (2002). *Deshidratación: secado y liofilización*. Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México.

- Izquierdo, M. (2016). *El cacao es un "superalimento", ¿Qué beneficios aporta a tu salud?* Recuperado 8 julio, 2019, de <https://www.infosalus.com/nutricion/noticia-cacao-superalimento-beneficios-aporta-salud-20160711135839.html>
- Lazo, R. (2015). *Conservación por liofilización de pulpa camu camu (Myrciaria dubia HBK)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín: Tarapoto, Perú.
- Linden, G., & Lorient, D. (1996). *Bioquímica agroindustrial. Revalorización alimentaria de la producción agrícola*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Mejía, L., & Argüello, O. (2000). *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA.
- Mendoza, M. (2017). *La pulpa de cacao: un descubrimiento en beneficio de la salud*. Recuperado 5 agosto, 2019, de <https://andina.pe/agencia/noticia-la-pulpa-cacao-un-descubrimiento-beneficio-de-salud-704847.aspx>
- Minifie, B. (1989). *Chocolate, Cocoa and Confectionery: Science and Technology* (3<sup>a</sup> ed.). Washington D. C., Estados Unidos: Springer Netherlands.
- Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI. (2019). *Boletín de publicación trimestral enero*. Observatorio de commodities cacao, Perú.
- Mora, F. (2013). *Efecto de la concentración de CMC, Goma Guar y Goma Xantana sobre la sinéresis, características reológicas y consistencia sensorial de salsa de alcachofa (Cynara scolymus L.) variedad imperial star* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego: Trujillo, Perú.
- Multon, J. (1999). *Aditivos y auxiliares de fabricación en las Industrias Agroalimentarias*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Murillo, F. (2006). *Actividad antioxidante "in vitro" de las bebidas de frutas*. Panamá: Instituto de Alimentación y Nutrición (IANUT).
- Nollet, L. M. L. (1996). *Handbook of food analysis*. New York: Marcel Dekker.



- NTP 203.072:1977 (revisada el 2017). *Productos elaborados a partir de frutas y otros vegetales. Determinación de los sólidos solubles*. 1ra Edición reemplaza a la NTP 203.072:1977 (revisada el 2012).
- NTP 203.070:1977 (revisada el 2017). *Productos elaborados a partir de frutas y otros vegetales. Determinación de la acidez*. 1ra Edición reemplaza a la NTP 203.070:1977 (revisada el 2012).
- Núñez, D. (2008). *Optimización del proceso de elaboración de pulpa de babaco (Carica pentagona), con incorporación de su corteza y maximizando la retención de ácido ascórbico* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja: Ecuador.
- Obregón, P. (2019). *Obtención de un alimento liofilizado a base de maracuyá (Passiflora edulis) y camu camu (Myrciaria dubia)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Otle, S., & Atli, Y. (2002). *Análisis de carotenoides en pasta de tomate por HPLC*. Nota de aplicación. Universidad del Egeo, Turquía.
- Pardo, B., & Mauricio, J. (2002). *Modelling Studies on Freeze-drying of Coffee Extracts*. A PhD. Thesis. The University of Reading. Faculty of Life Sciences. School of Food Biosciences.
- Perry H., R. (1997). *Manual del ingeniero químico* (6ª ed.). Bogotá, Colombia: Ed. Mc Graw Hill.
- Pinedo, D. (2002). *Exudado de cacao (Theobroma cacao) en la obtención de jalea* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva: Tingo María, Perú.
- Poggio R. (2016). *Utilización de equipos y utilización de equipos en la elaboración y tratamiento de productos alimentarios*. Málaga: Editorial ICBS.
- Potter, N. (1973). *La ciencia de los alimentos*. México: Edutex S.A.
- Potter, N., & Hotchkiss, J. (1998). *Food Science* (5ª ed.). United States: Edit. Ruth Bloom.
- Rafecas, M., & Codony, R. (2000). *Estudio nutricional del cacao y productos derivados*. Barcelona: Universidad de Barcelona - Instituto del Cacao y el Chocolate (ICC).

- Ramírez, J. (2006). *Liofilización de alimentos*. Cali, Colombia: Revista ReCiTeIA, Universidad del Valle.
- Ramirez J.S., Cañizarez, J. 2003. *Deshidratación de la papa mediante liofilización atmosférica*, Universidad Central del Ecuador, Escuela de Ingeniería Química, Quito - Ecuador.
- Ramos, Z., García, L., Pinedo, M., & Souza, R. (2002). *Evaluación de factores de procesamiento de pulpa de Myrciaria Dubia H.B.K. (camu camu) que reducen el contenido de Vitamina C (ácido ascórbico)*. Revista Amazónica de Investigación Alimentaria, 2(2), 89–99.
- Rodríguez-Amaya, D. (1999). *Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados*. Brasil: Editorial OMNI.
- Schmidt-Hebbel, H. (1990). *Aditivos alimentarios y la reglamentación de los alimentos*. Santiago: Editorial Fundación Chile.
- Sinche, E. (2011). *Evaluación del tiempo de fermentación del grano de cacao criollo (Theobroma cacao L.) para la obtención de la pasta* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú: Satipo, Perú.
- Soysal, Y. (2004). *Microwave drying characteristics of parsley*. Biosystems Engineering, 89(2), 167–173.
- Suárez, C., Moreira, M., & Vera, J. (2012). *Manual del cultivo de cacao*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador.
- Trujillo, E. (2013). *Desarrollo de una formulación de ácido ascórbico, gomitas para uso pediátrico* (Tesis de pregrado). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vela, J. (1997). *Obtención de pectina a partir del exudado de cacao (Theobroma cacao Sp)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de La Selva: Tingo Maria, Perú.
- Vélez y De Vélez. (1990). *Plantas alimenticias de Venezuela*. Caracas: Fundación Bigott/Sociedad de Ciencias Naturales La Salle.

- Villarroel, G. (2008). *Determinación de la actividad antioxidante de la guinda (Prunus capuli)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Woinet, B., Andrieu, J., Laurent, M., & Min, S.G. (1997). *Experimental and Theoretical Study of Model Food Freezing*. Part II. Characterization and Modelling of the Ice Crystal Size.
- Zavala, L. (2010). *El camu camu*. *Boletín Nutricional*. Barcelona: Fundación Universitaria Iberoamericana FUNIBER.

## ANEXOS

### Anexo 1. Resultados del análisis de los veintisiete tratamientos del agente espesante.

**Tabla 15**

*Datos de la determinación de Vitamina C y medida de Color*

Conjugación			Tratamiento	Factores							
				Presión (mbar)	Temperatura (°C)	Hora (h)	vitamina C (µg/ml)	Color			
								L	*a	*b	IC
a1	b1	c1	T1	0.002	-15	14	12,07	48,98	1,24	8,25	4,29
a1	b1	c1		0.002	-15	14	12,14	49,04	1,25	8,24	3,50
a1	b1	c1		0.002	-15	14	12,22	52,81	1,27	8,44	3,54
a2	b1	c1	T2	0.12	-15	14	9,56	52,51	2,08	11,45	3,46
a2	b1	c1		0.12	-15	14	9,60	53,32	1,92	11,28	3,19
a2	b1	c1		0.12	-15	14	9,55	52,65	2,03	11,93	3,23
a3	b1	c1	T3	1.65	-15	14	8,10	47,84	2,36	10,81	4,56
a3	b1	c1		1.65	-15	14	7,97	47,39	2,47	10,70	4,87
a3	b1	c1		1.65	-15	14	8,82	46,16	2,34	10,65	4,76
a1	b2	c1	T4	0.002	-20	14	12,17	41,96	1,62	7,70	5,01
a1	b2	c1		0.002	-20	14	12,22	41,86	1,59	7,68	4,95
a1	b2	c1		0.002	-20	14	12,27	43,69	1,66	8,23	4,62
a2	b2	c1	T5	0.12	-20	14	9,87	39,86	2,00	8,01	6,26
a2	b2	c1		0.12	-20	14	9,53	41,88	1,99	8,20	5,79
a2	b2	c1		0.12	-20	14	9,27	39,97	2,23	8,24	6,77
a3	b2	c1	T6	1.65	-20	14	8,27	45,19	2,45	9,39	5,77
a3	b2	c1		1.65	-20	14	8,32	46,73	2,44	9,86	5,30
a3	b2	c1		1.65	-20	14	8,40	46,63	1,00	8,20	2,62
a1	b3	c1	T7	0.002	-25	14	13,55	48,33	0,64	5,63	2,35
a1	b3	c1		0.002	-25	14	13,59	47,59	0,69	5,57	2,60
a1	b3	c1		0.002	-25	14	13,65	47,59	0,88	6,10	3,03
a2	b3	c1	T8	0.12	-25	14	10,79	35,52	1,45	6,30	6,48
a2	b3	c1		0.12	-25	14	10,83	46,45	1,30	6,53	4,29
a2	b3	c1		0.12	-25	14	10,87	49,80	1,34	7,41	3,63
a3	b3	c1	T9	1.65	-25	14	6,81	48,83	1,36	8,85	3,15
a3	b3	c1		1.65	-25	14	6,88	49,21	1,96	9,23	4,32
a3	b3	c1		1.65	-25	14	6,91	48,99	1,91	9,71	4,02
a1	b1	c2	T10	0.002	-15	20	11,88	47,47	1,16	7,42	3,29
a1	b1	c2		0.002	-15	20	12,03	41,64	1,24	6,63	4,49
a1	b1	c2		0.002	-15	20	12,19	44,81	1,08	6,57	3,67
a2	b1	c2	T11	0.12	-15	20	9,17	44,57	2,47	9,71	5,71
a2	b1	c2		0.12	-15	20	9,22	39,74	2,27	8,57	6,67
a2	b1	c2		0.12	-15	20	9,28	38,86	2,23	8,50	6,75
a3	b1	c2	T12	1.65	-15	20	7,08	48,14	1,32	7,76	3,53
a3	b1	c2		1.65	-15	20	7,05	45,81	1,45	7,68	4,12
a3	b1	c2		1.65	-15	20	7,10	38,96	1,45	6,55	5,68

Conjugación			Tratamiento	Factores							
				Presión (mbar)	Temperatura (°C)	Hora (h)	Vitamina C (µg/ml)	color			
								L	*a	*b	IC
a1	b2	c2	T13	0.002	-20	20	12,05	47,66	1,78	8,35	4,47
a1	b2	c2		0.002	-20	20	12,09	47,31	1,79	8,32	4,55
a1	b2	c2		0.002	-20	20	12,17	43,44	1,86	7,97	5,37
a2	b2	c2	T14	0.12	-20	20	8,94	49,05	1,13	7,89	2,92
a2	b2	c2		0.12	-20	20	8,98	51,96	1,21	8,84	2,63
a2	b2	c2		0.12	-20	20	9,16	50,10	1,15	8,35	2,75
a3	b2	c2	T15	1.65	-20	20	6,01	46,53	1,58	9,61	3,53
a3	b2	c2		1.65	-20	20	7,86	49,75	1,27	9,38	2,72
a3	b2	c2		1.65	-20	20	7,68	48,26	1,24	9,98	2,57
a1	b3	c2	T16	0.002	-25	20	13,32	64,79	2,63	12,28	3,31
a1	b3	c2		0.002	-25	20	13,36	65,88	2,62	12,25	3,25
a1	b3	c2		0.002	-25	20	13,45	45,58	1,40	7,70	3,99
a2	b3	c2	T17	0.12	-25	20	9,72	44,57	2,47	9,71	5,71
a2	b3	c2		0.12	-25	20	9,86	39,74	2,27	8,57	6,67
a2	b3	c2		0.12	-25	20	10,00	38,86	2,23	8,50	6,75
a3	b3	c2	T18	1.65	-25	20	6,69	49,66	1,84	9,63	3,85
a3	b3	c2		1.65	-25	20	6,73	52,48	1,74	9,69	3,42
a3	b3	c2		1.65	-25	20	6,75	52,37	2,41	11,88	3,87
a1	b1	c3	T19	0.002	-15	24	11,91	44,73	1,85	9,65	4,29
a1	b1	c3		0.002	-15	24	11,99	51,15	1,57	8,78	3,50
a1	b1	c3		0.002	-15	24	12,07	51,94	1,66	9,03	3,54
a2	b1	c3	T20	0.12	-15	24	8,53	49,22	1,08	7,96	2,76
a2	b1	c3		0.12	-15	24	8,36	50,66	1,26	8,75	2,84
a2	b1	c3		0.12	-15	24	8,12	50,22	1,81	8,64	4,17
a3	b1	c3	T21	1.65	-15	24	6,91	48,83	1,79	10,18	3,60
a3	b1	c3		1.65	-15	24	7,04	49,96	2,37	11,50	4,13
a3	b1	c3		1.65	-15	24	7,15	49,43	2,49	11,56	4,36
a1	b2	c3	T22	0.002	-20	24	11,93	50,08	0,82	5,80	2,82
a1	b2	c3		0.002	-20	24	11,96	50,18	0,82	5,86	2,79
a1	b2	c3		0.002	-20	24	12,04	50,31	0,51	5,54	1,83
a2	b2	c3	T23	0.12	-20	24	8,07	52,47	1,80	9,19	3,73
a2	b2	c3		0.12	-20	24	8,21	52,83	9,27	20,03	8,76
a2	b2	c3		0.12	-20	24	8,58	51,54	1,92	8,90	4,19
a3	b2	c3	T24	1.65	-20	24	6,55	51,22	1,18	9,29	2,48
a3	b2	c3		1.65	-20	24	7,19	50,89	1,25	9,22	2,66
a3	b2	c3		1.65	-20	24	7,38	53,34	1,18	9,39	2,36
a1	b3	c3	T25	0.002	-25	24	13,10	47,64	1,70	9,46	3,77
a1	b3	c3		0.002	-25	24	13,15	47,57	1,67	9,44	3,72
a1	b3	c3		0.002	-25	24	13,17	51,66	1,34	8,94	2,90
a2	b3	c3	T26	0.12	-25	24	9,57	44,94	1,72	9,14	4,19
a2	b3	c3		0.12	-25	24	9,65	50,44	1,51	8,15	3,67
a2	b3	c3		0.12	-25	24	9,70	49,42	1,53	8,31	3,73

a3	b3	c3		1.65	-25	24	6,94	49,63	1,77	8,90	4,01
a3	b3	c3	T27	1.65	-25	24	7,00	50,99	2,46	11,59	4,16
a3	b3	c3		1.65	-25	24	7,07	50,95	2,10	11,03	3,74

## Anexo 2. Análisis descriptivo para la pulpa de cacao en fresco.

**Tabla 16**

*Caracterización fisicoquímica de la pulpa de cacao fresca*

Repeticiones	Humedad	Color				°Brix	% de Acidez	Vitamina C (µg/ml)
		L	*a	*b	IC			
1	89,26	105,33	-2,77	9,12	-2,88	7,10	2,01	26,16
2	88,34	88,27	-0,92	10,23	-1,02	7,80	1,76	26,10
3	87,31	93,78	4,37	13,5	3,45	7,60	1,88	25,14
4	88,18	88,5	-3,22	11,7	-3,11	8,30	1,79	25,54
5	87,25	83,98	-2,51	8,33	-3,59	7,90	1,80	24,79
6	88,81	80,88	-0,01	8,98	-0,01	8,50	1,79	24,50
7	90,37	53,68	0,05	8,92	0,10	7,4	1,88	25,79
8	89,58	53,41	0,17	7,2	0,44	8,1	2,00	26,05
9	89,42	60,67	-0,41	6,57	-1,03	7,7	2,04	26,28
10	90,36	108,18	-2,72	10,17	-2,47	7,8	1,96	25,16
11	90,97	118,33	-2,35	8,93	-2,22	-	-	-

**Tabla 17**

*Estadísticos descriptivos*

	Nº	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
%	11	87,25	90,97	89,0773	1,23227
L*	11	53,41	118,33	85,0009	21,79536
a*	11	-3,22	4,37	-,9382	2,18456
b*	11	6,57	13,50	9,4227	1,95131
IC	11	-359,00	3,45	-33,4318	107,99521
°Brix	10	7,10	8,50	7,8200	,41312
% acidez	10	1,76	2,04	1,8910	,10493
Vit. C	10	24,50	26,28	25,5510	,62499
Nº válido (por lista)	10				

**Anexo 3. Análisis de Varianza (ANVA) para el color medida  $L$ ,  $a^*$ ,  $b$  de los veintisiete tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 18**

*Análisis de varianza (ANVA) para el componente  $L^*$  (Luminosidad) de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Suma de cuadrados Medio	F calculada	Sig.
Modelo corregido	1339,999 <sup>a</sup>	26	51,538	4,772	,000
Intersección	186911,823	1	186911,823	17306,627	,000
Presión	71,460	2	35,730	3,308	,044
Temperatura	28,131	2	14,065	1,302	,280
Tiempo	174,981	2	87,490	8,101	,001
Presión *	240,812	4	60,203	5,574	,001
Temperatura					
Presión * Tiempo	98,328	4	24,582	2,276	,073
Temperatura *	455,356	4	113,839	10,541	,000
Tiempo					
Presión *					
Temperatura *	270,931	8	33,866	3,136	,006
Tiempo					
Error	583,201	54	10,800		
Total	188835,022	81			
Total corregido	1923,199	80			

a. R al cuadrado = ,697 (R al cuadrado ajustada = ,551)

Como hay diferencias significativas entre tratamientos  $p < 0,05$ , se hace la prueba de Tukey 0,05.

**Tabla 19**

*Comparación múltiple del efecto de la presión(mbar) en el componente  $L^*$  (Luminosidad), promedios con la prueba de Tukey*

(I)Presión (mbar)	(J) Presión (mbar)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0,002mbar	0,12mbar	2,0202	,89443	,071	-,1354	4,1757
	1,65mbar	,0566	,89443	,998	-2,0990	2,2121
0,12mbar	0,002mbar	-2,0202	,89443	,071	-4,1757	,1354

	1,65mbar	-1,9636	,89443	,081	-4,1191	,1920
1,65mbar	0,002mbar	-,0566	,89443	,998	-2,2121	2,0990
	0,12mbar	1,9636	,89443	,081	-,1920	4,1191

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 10,800.

La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

**Tabla 20**

*Comparación múltiple del efecto de la temperatura(°C) en el componente L\* (Luminosidad), promedios con la prueba de Tukey*

(I)Temperatura	(J)Temperatura °C	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
-15°C	-20°C	,0796	,89443	,996	-2,0759	2,2352
	-25°C	-1,2084	,89443	,374	-3,3640	,9471
-20°C	-15°C	-,0796	,89443	,996	-2,2352	2,0759
	-25°C	-1,2880	,89443	,328	-3,4436	,8675
-25°C	-15°C	1,2084	,89443	,374	-,9471	3,3640
	-20°C	1,2880	,89443	,328	-,8675	3,4436

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 10,800.

La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

**Tabla 21**

*Comparación múltiple del efecto del tiempo(h) en el componente L\* (Luminosidad), promedios con la prueba de Tukey*

(I)tiempo (h)	(J)tiempo (h)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
14h	20h	-,6371	,89443	,757	-2,7927	1,5184
	24h	-3,3872*	,89443	,001	-5,5428	-1,2317
20h	14h	,6371	,89443	,757	-1,5184	2,7927
	24h	-2,7501*	,89443	,009	-4,9057	-,5946
24h	14h	3,3872*	,89443	,001	1,2317	5,5428
	20h	2,7501*	,89443	,009	,5946	4,9057

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 10,800.

La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.



**Tabla 22**

*Análisis de varianza (ANVA) del parámetro de color  $a^*$  de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Medio	F calculada $\alpha=0,05$	Sig.
Modelo corregido	37,573 <sup>a</sup>	26	1,445	1,913	,022
Intersección	253,128	1	253,128	335,136	,000
Presión	5,678	2	2,839	3,759	,030
Temperatura	,063	2	,031	,041	,959
Tiempo	,466	2	,233	,309	,736
Presión * Temperatura	4,325	4	1,081	1,432	,236
Presión * Tiempo	3,709	4	,927	1,228	,310
Temperatura * Tiempo	5,376	4	1,344	1,780	,146
Presión * Temperatura * Tiempo	17,955	8	2,244	2,972	,008
Error	40,786	54	,755		
Total	331,487	81			
Total corregido	78,359	80			

a. R al cuadrado = ,288 (R al cuadrado ajustada = -,055)

Como hay diferencias significativas entre tratamientos  $p < 0,05$ , se hace la prueba de Tukey 0,05.

**Tabla 23**

*Comparación múltiple del efecto de la presión(mbar) del parámetro de color  $a^*$  promedios con la prueba de Tukey*

(I)Presión (mbar)	(J) Presión (mbar)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0,002mbar	0,12mbar	-,6419*	,23653	,024	-1,2119	-,0718
	1,65mbar	-,4015	,23653	,215	-,9715	,1686
0,12mbar	0,002mbar	,6419*	,23653	,024	,0718	1,2119
	1,65mbar	,2404	,23653	,570	-,3297	,8104
1,65mbar	0,002mbar	,4015	,23653	,215	-,1686	,9715
	0,12mbar	-,2404	,23653	,570	-,8104	,3297

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,755.

La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

**Tabla 24**

*Comparación múltiple del efecto de la temperatura(°C) del parámetro de color a\* promedios con la prueba de Tukey*

(I)Temperatura	(J)Temperatura °C	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
-15°C	-20°C	-,0456	,23653	,980	-,6156	,5245
	-25°C	,0211	,23653	,996	-,5489	,5912
-20°C	-15°C	,0456	,23653	,980	-,5245	,6156
	-25°C	,0667	,23653	,957	-,5034	,6367
-25°C	-15°C	-,0211	,23653	,996	-,5912	,5489
	-20°C	-,0667	,23653	,957	-,6367	,5034

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,755.

La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

**Tabla 25**

*Comparación múltiple del efecto del tiempo(h) del parámetro de color a\* promedios con la prueba de Tukey*

(I)Tiempo (h)	(J)Tiempo (h)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
14h	20h	-,0674	,23653	,956	-,6374	,5026
	24h	-,1837	,23653	,719	-,7537	,3863
20h	14h	,0674	,23653	,956	-,5026	,6374
	24h	-,1163	,23653	,876	-,6863	,4537
24h	14h	,1837	,23653	,719	-,3863	,7537
	20h	,1163	,23653	,876	-,4537	,6863

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,755.

La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

**Tabla 26**

*Análisis de varianza (ANVA) del parámetro de color b\* de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Medio	F calculada $\alpha=0,05$	Sig.
Modelo corregido	10427,433 <sup>a</sup>	26	401,055	4,426	,000
Intersección	9977,568	1	9977,568	110,104	,000

Presión	1052,226	2	526,113	5,806	,005
Temperatura	732,874	2	366,437	4,044	,023
Tiempo	711,880	2	355,940	3,928	,026
Presión * Temperatura	1652,656	4	413,164	4,559	,003
Presión * Tiempo	1346,227	4	336,557	3,714	,010
Temperatura * Tiempo	1987,324	4	496,831	5,483	,001
Presión * Temperatura * Tiempo	2944,246	8	368,031	4,061	,001
Error	4893,451	54	90,619		
Total	25298,453	81			
Total corregido	15320,885	80			

a. R al cuadrado = ,681 (R al cuadrado ajustada = ,527)

**Tabla 27**

*Comparación múltiple del efecto de la presión(mbar) del parámetro de color b\* promedios con la prueba de Tukey*

(I)Presión (mbar)	(J) Presión (mbar)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0,002mbar	0,12mbar	-1,1567	2,59086	,896	-7,4006	5,0873
	1,65mbar	-8,1581*	2,59086	,007	-14,4021	-1,9142
0,12mbar	0,002mbar	1,1567	2,59086	,896	-5,0873	7,4006
	1,65mbar	-7,0015*	2,59086	,025	-13,2454	-,7576
1,65mbar	0,002mbar	8,1581*	2,59086	,007	1,9142	14,4021
	0,12mbar	7,0015*	2,59086	,025	,7576	13,2454

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 90,619.

La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

**Tabla 28**

*Comparación múltiple del efecto de la temperatura(°C) del parámetro de color b\* promedios con la prueba de Tukey*

(I)Temperatura	(J)Temperatura °C	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
-15°C	-20°C	,3619	2,59086	,989	-5,8821	6,6058
	-25°C	-6,1922	2,59086	,052	-12,4362	,0517
-20°C	-15°C	-,3619	2,59086	,989	-6,6058	5,8821
	-25°C	-6,5541*	2,59086	,038	-12,7980	-,3101

-25°C	-15°C	6,1922	2,59086	,052	-,0517	12,4362
	-20°C	6,5541*	2,59086	,038	,3101	12,7980

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 90,619.

La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

**Tabla 29**

*Comparación múltiple del efecto del tiempo(h) del parámetro de color b\* promedios con la prueba de Tukey*

(I)Tiempo (h)	(J)Tiempo (h)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
14h	20h	-6,6511*	2,59086	,034	-12,8950	-,4072
	24h	-,8015	2,59086	,949	-7,0454	5,4424
20h	14h	6,6511*	2,59086	,034	,4072	12,8950
	24h	5,8496	2,59086	,071	-,3943	12,0936
24h	14h	,8015	2,59086	,949	-5,4424	7,0454
	20h	-5,8496	2,59086	,071	-12,0936	,3943

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 90,619.

La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

**Anexo 4. Análisis de Varianza (ANVA) del parámetro de color L\* de los tres mejores tratamientos de pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 30**

*Parámetro de color L\* de la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones			Total
	I	II	III	
7	48,33	47,59	47,59	47,84
16	64,79	65,88	45,58	58,75
25	47,64	47,57	51,66	48,96
Total	160,76	161,04	144,83	
Promedio	53,59	53,68	48,28	

**Tabla 31**

*Análisis de Varianza (ANVA) en el componente L\* (Luminosidad) de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F Calculada	F Tabulada $\alpha=0,05$	Sig.
Tratamientos	2	12419,1035	6209,55173	-3,12290985	5,143	No hay sig.
Error	6	-11930,3189	-1988,38648			
Total	8	488,784556				

**Anexo 5. Análisis de Varianza (ANVA) del parámetro de color a\* de los tres mejores tratamientos de pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 32**

*Parámetro de color a\* de la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones			Total
	I	II	III	
7	0,64	0,69	0,88	2,21
16	2,63	2,62	1,4	6,65
25	1,70	1,67	1,34	4,71
Total	4,97	4,98	3,62	
Promedio	1,66	1,66	1,21	

**Tabla 33**

*Análisis de Varianza (ANVA) del parámetro de color a\* de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F Calculada	F Tabulada $\alpha=0,05$	Sig.
Tratamientos	2	4,95453333	2,47726667	-0,23707	5,143	No hay sig.
Error	6	-20,89885	-10,449425			
Total	8	-15,944317				

**Anexo 6. Análisis de Varianza (ANVA) del parámetro de color  $b^*$  de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 34**

*Parámetro de color  $b^*$  para la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones			Total
	I	II	III	
7	5,63	5,57	6,1	17,3
16	12,28	12,25	7,7	32,23
25	9,46	9,44	8,94	27,84
Total	27,37	27,26	22,74	
Promedio	9,12	9,09	7,58	

**Tabla 35**

*Análisis de varianza (ANVA) del parámetro de color  $b^*$  de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F Calculada	F Tabulada $\alpha=0,05$	Sig.
Tratamientos	2	58,8781	29,43905	-0,5226597	5,143	No hay sig.
Error	6	-337,95275	-56,325458			
Total	8	-279,07465				

**Anexo 7. Análisis de Varianza (ANVA) del índice de color (IC) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 36**

*Índice de color de la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones			Total
	I	II	III	
7	2,35	2,6	3,03	7,98
16	3,31	3,24	3,99	10,54
25	3,77	3,72	2,9	10,39
Total	9,43	9,56	9,92	
Promedio	3,14	3,19	3,31	

**Tabla 37**

*Análisis de varianza (ANVA) para el índice de color de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F Calculada	F Tabulada $\alpha=0,05$	Sig.
Tratamientos	2	2,06403333	1,03201667	-0,13442516	5,143	No hay sig.
Error	6	-46,06355	-7,6772583			
Total	8	43,999517				

**Anexo 8. Análisis de Varianza (ANVA) de la obtención de Vitamina C en los veintisiete tratamientos de pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 38**

*Contenido de Vitamina C de la pulpa de cacao liofilizada*

Presión (mbar)	Temperatura (°C)								
	-15			-20			-25		
	Tiempo (h)								
	14	20	24	14	20	24	14	20	24
0.002	12.06	12.17	13.55	9.56	9.87	10.79	8.1	8.27	6.81
	12.14	12.22	13.59	9.6	9.53	10.83	7.97	8.32	6.88
	12.22	12.27	13.65	9.55	9.27	10.87	8.82	8.4	6.91
0.12	11.88	12.05	13.32	9.17	8.94	9.72	7.08	6.01	6.69
	12.03	12.09	13.36	9.22	8.98	9.86	7.05	7.86	6.73
	12.19	12.17	13.45	9.28	9.16	10	7.1	7.68	6.75
1.65	11.91	11.93	13.1	8.53	8.07	9.57	6.91	6.55	6.94
	11.99	11.96	13.15	8.36	8.21	9.65	7.04	7.19	7
	12.07	12.04	13.17	8.12	8.58	9.7	7.15	7.38	7.07

**Tabla 39**

*Análisis de varianza (ANVA) del contenido de Vitamina C de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Suma de cuadrados Medio	F Calculada	Sig.
Modelo corregido	407,343 <sup>a</sup>	26	15,667	239,571	,000
Intersección	7654,111	1	7654,111	117041,969	,000
Presión	373,570	2	186,785	2856,204	,000
Temperatura	6,297	2	3,149	48,148	,000
Tiempo	8,470	2	4,235	64,755	,000
Presión * Temperatura	13,558	4	3,389	51,830	,000

Presión * Tiempo	2,765	4	,691	10,570	,000
Temperatura * Tiempo	,519	4	,130	1,983	,110
Presión * Temperatura *	2,164	8	,270	4,136	,001
Tiempo					
Error	3,531	54	,065		
Total	8064,985	81			
Total corregido	410,874	80			
a. R al cuadrado = ,991 (R al cuadrado ajustada = ,987)					

**Tabla 40***Media marginal estimada de la presión (mbar)*

Presión (mbar)				
Mbar	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0,002mbar	12,509	,049	12,410	12,608
0,12mbar	9,370	,049	9,271	9,469
1,65mbar	7,284	,049	7,185	7,382

**Tabla 41***Media marginal estimada de la temperatura (°C)*

Temperatura (°C)				
°C	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
-15°C	9,523	,049	9,424	9,621
-20°C	9,525	,049	9,426	9,623
-25°C	10,115	,049	10,017	10,214

**Tabla 42***Media marginal estimada del tiempo (h)*

Tiempo (h)				
T	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
14h	10,157	,049	10,058	10,255
20h	9,623	,049	9,524	9,722
24h	9,383	,049	9,284	9,482



**Tabla 43***Media marginal estimada para la presión(mbar) x temperatura(°C)*

Presión (mbar) x Temperatura (°C)					
Mbar	°C	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
0,002mbar	-15°C	12,056	,085	11,885	12,226
	-20°C	12,100	,085	11,929	12,271
	-25°C	13,371	,085	13,200	13,542
0,12mbar	-15°C	9,043	,085	8,872	9,214
	-20°C	8,957	,085	8,786	9,128
	-25°C	10,110	,085	9,939	10,281
1,65mbar	-15°C	7,469	,085	7,298	7,640
	-20°C	7,518	,085	7,347	7,689
	-25°C	6,864	,085	6,694	7,035

**Tabla 44***Media marginal estimada para la presión(mbar) x tiempo(h)*

Presión (mbar) x Tiempo (h)					
Mbar	t	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
0,002mbar	14h	12,653	,085	12,482	12,824
	20h	12,504	,085	12,334	12,675
	24h	12,369	,085	12,198	12,540
0,12mbar	14h	9,986	,085	9,815	10,156
	20h	9,370	,085	9,199	9,541
	24h	8,754	,085	8,584	8,925
1,65mbar	14h	7,831	,085	7,660	8,002
	20h	6,994	,085	6,824	7,165
	24h	7,026	,085	6,855	7,196

**Tabla 45***Media marginal estimada para temperatura (°C) x tiempo(h)*

Temperatura (°C) x Tiempo (h)					
°C	T	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
-15°C	14h	10,003	,085	9,832	10,174
	20h	9,444	,085	9,274	9,615
	24h	9,120	,085	8,949	9,291

-20°C	14h	10,036	,085	9,865	10,206
	20h	9,438	,085	9,267	9,609
	24h	9,101	,085	8,930	9,272
-25°C	14h	10,431	,085	10,260	10,602
	20h	9,987	,085	9,816	10,158
	24h	9,928	,085	9,757	10,099

**Tabla 46**

*Media marginal para presión(mbar) x temperatura(°C) x tiempo(h)*

Presión (mbar) x Temperatura (°C) x Tiempo (h)						
Mbar	°C	T	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0,002mbar	-15°C	14h	12,143	,148	11,847	12,439
		20h	12,033	,148	11,737	12,329
		24h	11,990	,148	11,694	12,286
	-20°C	14h	12,220	,148	11,924	12,516
		20h	12,103	,148	11,807	12,399
		24h	11,977	,148	11,681	12,273
	-25°C	14h	13,597	,148	13,301	13,893
		20h	13,377	,148	13,081	13,673
		24h	13,140	,148	12,844	13,436
	-15°C	14h	9,570	,148	9,274	9,866
		20h	9,223	,148	8,927	9,519
		24h	8,337	,148	8,041	8,633
0,12mbar	-20°C	14h	9,557	,148	9,261	9,853
		20h	9,027	,148	8,731	9,323
		24h	8,287	,148	7,991	8,583
	-25°C	14h	10,830	,148	10,534	11,126
		20h	9,860	,148	9,564	10,156
		24h	9,640	,148	9,344	9,936
1,65mbar	-15°C	14h	8,297	,148	8,001	8,593
		20h	7,077	,148	6,781	7,373
		24h	7,033	,148	6,737	7,329
	-20°C	14h	8,330	,148	8,034	8,626
		20h	7,183	,148	6,887	7,479
		24h	7,040	,148	6,744	7,336
	-25°C	14h	6,867	,148	6,571	7,163
		20h	6,723	,148	6,427	7,019
		24h	7,003	,148	6,707	7,299

**Tabla 47**

*Comparación múltiple del efecto de la presión (mbar) en el contenido de vitamina C, promedios con la prueba de Tukey*

Presión (mbar)						
(I) mbar	(J) mbar	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0,002mbar	0,12mbar	3,1389*	,06960	,000	29,712	33,066
	1,65mbar	5,2252*	,06960	,000	50,575	53,929
0,12mbar	0,002mbar	-3,1389*	,06960	,000	-33,066	-29,712
	1,65mbar	2,0863*	,06960	,000	19,186	22,540
1,65mbar	0,002mbar	-5,2252*	,06960	,000	-53,929	-50,575
	0,12mbar	-2,0863*	,06960	,000	-22,540	-19,186

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,065.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Tabla 48**

*Comparación múltiple del efecto de la temperatura (°C) en el contenido de vitamina C, promedios con la prueba de Tukey*

Temperatura (°C)						
(I) °C	(J) °C	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
-15°C	-20°C	-,0022	,06960	,999	-,1700	,1655
	-25°C	-,5926*	,06960	,000	-,7603	-,4249
-20°C	-15°C	,0022	,06960	,999	-,1655	,1700
	-25°C	-,5904*	,06960	,000	-,7581	-,4226
-25°C	-15°C	,5926*	,06960	,000	,4249	,7603
	-20°C	,5904*	,06960	,000	,4226	,7581

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,065.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Tabla 49**

*Comparación múltiple del efecto del tiempo(h) en el contenido de vitamina C, promedios con la prueba de Tukey*

Tiempo (t)						
(I) t	(J) t	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
14h	20h	,5337*	,06960	,000	,3660	,7014
	24h	,7737*	,06960	,000	,6060	,9414
20h	14h	-,5337*	,06960	,000	-,7014	-,3660
	24h	,2400*	,06960	,003	,0723	,4077
24h	14h	-,7737*	,06960	,000	-,9414	-,6060
	20h	-,2400*	,06960	,003	-,4077	-,0723

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,065.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Anexo 9. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de humedad (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 50**

*Porcentaje de humedad (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones		Total
	I	II	
7	7,51	8,74	16,25
16	8,23	8,56	16,79
25	8,34	9,43	17,77
Total	24,08	26,73	
Promedio	8,03	8,91	

**Tabla 51**

*Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de humedad (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F calculada	F Tabulada $\alpha=0,05$	Sig.
Tratamientos	2	0,59373333	0,29686667	0,63390156	9,552	No hay sig.
Error	3	1,40495	0,46831667			
Total	5	1,99868333				

**Anexo 10. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de ceniza (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 52**

*Porcentaje de ceniza (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones		Total
	I	II	
7	7,94	7,49	15,43
16	7,98	7,50	15,48
25	7,28	7,03	14,31
Total	23,2	22,02	
Promedio	7,73	7,34	

**Tabla 53**

*Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de ceniza (%) de la pulpa liofilizada*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F Calculada	F Tabulada $\alpha=0,05$	Sig.
Tratamientos	2	0,43763333	0,21881667	2,65018167	9,552	No hay sig.
Error	3	0,2477	0,08256667			
Total	5	0,6853333				

**Anexo 11. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de fibra (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 54**

*Porcentaje de fibra (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones		Total
	I	II	
7	39,89	40,29	80,18
16	38,67	40,37	79,04
25	40,32	39,16	79,48
Total	118,88	119,82	
Promedio	39,63	39,94	

**Tabla 55**

*Análisis de varianza del porcentaje de fibra (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Suma de cuadrados medio</b>	<b>F calculada</b>	<b>F Tabulada <math>\alpha=0,05</math></b>	<b>Sig.</b>
Tratamientos	2	0,3305333	0,16526667	0,225589	9,552	No hay sig..
Error	3	2,1978	0,7326			
Total	5	2,5283333				

**Anexo 12. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de proteína (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 56**

*Porcentaje de proteína (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

<b>Tratamiento</b>	<b>Repeticiones</b>		<b>Total</b>
	<b>I</b>	<b>II</b>	
7	7,7	7,1	14,80
16	7,85	8,32	16,17
25	8,54	7,83	16,37
Total	24,09	23,25	
Promedio	8,03	7,75	

**Tabla 57**

*Análisis de varianza del porcentaje de proteína (%) de la pulpa liofilizada*

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Suma de cuadrados medio</b>	<b>F calculada</b>	<b>F Tabulada <math>\alpha=0,05</math></b>	<b>Sig.</b>
Tratamientos	2	0,7303	0,36515	2,01926267	9,552	No hay sig..
Error	3	0,5425	0,18083333			
Total	5	1,2728				

**Anexo 13. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de grasa (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 58**

*Porcentaje de grasa (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones		Total
	I	II	
7	8,01	8,93	16,94
16	8,01	8,38	16,39
25	8,08	8,20	16,28
Total	24,10	25,51	
Promedio	8,03	8,50	

**Tabla 59**

*Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de grasa (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F calculada	F tabulada $\alpha=0,05$	Sig.
Tratamientos	2	0,1250333	0,06251667	0,37596472	9,552	No hay sig.
Error	3	0,49885	0,16628333			
Total	5	0,62388333				

**Anexo 14. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de carbohidratos (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 60**

*Porcentaje de carbohidratos (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones		Total
	I	II	
7	28,94	27,44	56,38
16	29,25	26,87	56,12
25	27,43	28,35	55,78
Total	85,62	82,66	
Promedio	28,54	27,55	

**Tabla 61**

*Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de carbohidratos (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F calculada	F Tabulada	Sig.
Tratamientos	2	0,09053333	0,04526667	0,03100174	9,552	No hay sig.
Error	3	4,3804	1,46013333			
Total	5	4,47093333				

**Anexo 15. Análisis de Varianza (ANVA) del porcentaje de energía (%) de los tres mejores tratamientos de la pulpa de cacao liofilizada (Agente espesante).**

**Tabla 62**

*Porcentaje de energía (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Tratamiento	Repeticiones		Total
	I	II	
7	218,67	218,53	437,2
16	220,51	216,13	436,64
25	216,63	218,5	435,13
Total	655,81	653,16	
Promedio	218,60	217,72	

**Tabla 63**

*Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de energía (%) de la pulpa de cacao liofilizada*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F calculada	F Tabulada	Sig.
Tratamientos	2	1,14643333	0,57321667	0,15150501	9,552	No hay sig.
Error	3	11,35045	3,78348333			
Total	5	12,4968833				



**Anexo 16. Análisis de Varianza (ANVA) para el atributo de apariencia general en la evaluación sensorial del néctar de cocona aplicando las tres mejores muestras liofilizadas.**

**Tabla 64**

*Evaluación sensorial del néctar de cocona*

Nombres P.	N° Panelistas	Apariencia en general			Total
		T1	T2	T3	
Isabel	1	5	4	5	14
Alicia	2	7	6	5	18
Johan	3	6	7	4	17
Lleiny	4	7	6	5	18
Anderson	5	6	5	5	16
Nina	6	5	5	5	15
Karen	7	5	5	3	13
Roiler	8	6	5	5	16
Dan	9	6	5	5	16
Marilyn	10	6	5	5	16
Jacqueline	11	6	5	5	16
Josué	12	4	6	7	17
Macedo	13	7	4	7	18
Katherine	14	4	6	4	14
Total		80	74	70	224
Promedio		5,71	5,29	5,00	

**Tabla 65**

*Análisis de varianza (ANVA) para el atributo de apariencia general del néctar de cocona*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados medio	F calculada	F tabulada ( $\alpha=0,05$ )	Sig.
Tratamiento	2	3,62	1,81	1,88	3,37	No hay sig.
Jueces	13	10,67	0,82			
Error	26	25,05	0,96			
Total	41	39,33				

**Anexo 17. Ficha para evaluar el atributo de apariencia general en el análisis sensorial de la pulpa de cacao liofilizado.**

**Nombre:** .....

**Nombre del producto:**.....

**Fecha:** .....

Frente a usted hay tres muestras de néctar de cocona, utilizando un agente espesante a base de pulpa de cacao. Pruebe por favor la muestra e indique su nivel de agrado marcando con una X en la escala que mejor describa su reacción para cada uno de los atributos.

N°	Escala	T1	T2	T3
7	Me gusta mucho			
6	Me gusta bastante			
5	Me gusta ligeramente			
4	Ni me gusta ni me disgusta			
3	Me disgusta ligeramente			
2	Me disgusta bastante			
1	Me disgusta mucho			

Comentarios:

.....  
 .....  
 .....

¡Muchas gracias!



T(h)	T6 (1.65,-20°C, 14h)				T7 (0.002,-25°C,14h)				T8 (0.12,-25°C, 14h)				T9 (1.65,-25°C, 14h)				T10 (0.002,-15°C,20h)			
	Hbs6 (kg H2O/ kgss)	Hbs6	X media	R (Kg/ hm2)	Hbs7 (kg H20/ kgss)	Hbs7	X media	R (Kg/ hm2)	Hbs8 (kg H20/ kgss)	Hbs8	X media	R (Kg/ hm2)	Hbs9 (kg H20/ kgss)	Hbs9	X media	R (Kg/ hm2)	Hbs10 (kg H20/ kgss)	Hbs10	X media	R (Kg/ hm2)
0	36,76	1,00	0,95	0,03	45,22	1,00	0,92	0,09	46,23	1,00	0,94	0,05	36,84	1,00	0,97	0,03	37,36	1,00	0,92	0,09
0,5	32,98	0,90	0,87	0,01	38,03	0,84	0,79	0,06	40,56	0,88	0,83	0,04	34,32	0,93	0,90	0,03	31,20	0,84	0,78	0,06
1	31,30	0,85	0,81	0,03	33,41	0,74	0,69	0,06	35,94	0,78	0,73	0,03	32,01	0,87	0,81	0,05	26,86	0,72	0,67	0,05
1,5	27,95	0,76	0,71	0,03	28,79	0,64	0,57	0,07	31,95	0,69	0,63	0,05	27,80	0,75	0,71	0,04	23,23	0,62	0,58	0,05
2	24,38	0,66	0,63	0,01	22,88	0,51	0,46	0,02	26,29	0,57	0,52	0,02	24,44	0,66	0,63	0,01	19,86	0,53	0,45	0,05
3	21,87	0,59	0,55	0,01	19,03	0,42	0,37	0,03	22,09	0,48	0,42	0,02	22,13	0,60	0,57	0,02	13,63	0,36	0,30	0,03
4	18,30	0,50	0,44	0,02	14,15	0,31	0,26	0,03	17,05	0,37	0,33	0,02	19,60	0,53	0,47	0,03	9,01	0,24	0,20	0,03
5	13,89	0,38	0,33	0,01	9,27	0,21	0,17	0,02	13,27	0,29	0,22	0,02	15,19	0,41	0,36	0,03	5,57	0,15	0,10	0,03
6	10,12	0,28	0,20	0,02	5,93	0,13	0,09	0,02	7,40	0,16	0,12	0,02	10,98	0,30	0,22	0,04	2,15	0,06	0,04	0,01
7	4,66	0,13	0,08	0,01	2,08	0,05	0,02	0,01	3,46	0,07	0,04	0,01	5,10	0,14	0,10	0,02	0,56	0,02	0,01	0,00
8	1,31	0,04	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	2,36	0,06	0,03	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00
9	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
11	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
12	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
13	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
14	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00
SST.		0,48		SST.		0,39		SST.		0,38		SST.		0,48		SST.		0,47		
Hbs (%)		4,66		Hbs (%)		2,64		Hbs (%)		4,72		Hbs (%)		4,87		Hbs (%)		4,79		
SST. (%) Área (m2)		95,34 0,0021		SST. (%) 97,4				SST. (%) 95,28				SST. (%) 95,1				SST. (%) 95,2				

T11 (0.12,-15°C, 20h)					T12 (1.65,-15°C, 20h)					T13 (0.002,-20°C,20h)					T14 (0.12,-20°C, 20H)					T15 (1.65,-20°C, 20h)				
T(h)	Hbs1 1 (kg H2O/ kgss)	Hbs1 1	X medi a	R (Kg/hm 2)	Hbs1 2 (kg H2O/ kgss)	Hbs1 2	X medi a	R (Kg/hm 2)	Hbs1 3 (kg H2O/ kgss)	Hbs1 3	X medi a	R (Kg/ hm2 )	Hbs1 4 (kg H2O/ kgss)	Hbs1 4	X medi a	R (Kg/hm 2)	Hbs1 5 (kg H2O/ kgss)	Hbs1 5	X medi a	R (Kg / hm 2)				
0	36,46	1,00	0,95	0,04	61,78	1,00	0,97	0,02	45,45	1,00	0,96	0,04	45,78	1,00	0,95	0,03	46,03	1,00	0,96	0,02				
0,5	32,50	0,89	0,85	0,03	57,94	0,94	0,87	0,04	41,86	0,92	0,87	0,06	41,62	0,91	0,85	0,04	42,64	0,93	0,86	0,04				
1	29,59	0,81	0,78	0,02	49,22	0,80	0,74	0,03	36,98	0,81	0,75	0,07	36,16	0,79	0,71	0,06	36,10	0,78	0,74	0,03				
1,5	27,51	0,75	0,69	0,04	41,90	0,68	0,59	0,05	31,34	0,69	0,63	0,06	28,63	0,63	0,60	0,02	31,66	0,69	0,64	0,03				
2	23,14	0,63	0,57	0,02	31,09	0,50	0,46	0,01	26,20	0,58	0,47	0,06	26,55	0,58	0,54	0,01	27,48	0,60	0,51	0,02				
3	18,77	0,51	0,45	0,02	26,21	0,42	0,35	0,02	16,20	0,36	0,32	0,02	22,91	0,50	0,46	0,01	19,64	0,43	0,36	0,02				
4	14,19	0,39	0,32	0,02	17,14	0,28	0,22	0,01	13,12	0,29	0,23	0,03	19,53	0,43	0,36	0,02	13,89	0,30	0,25	0,02				
5	9,40	0,26	0,20	0,02	10,51	0,17	0,12	0,01	8,24	0,18	0,12	0,03	13,55	0,30	0,23	0,02	8,67	0,19	0,14	0,01				
6	5,03	0,14	0,10	0,01	4,58	0,07	0,05	0,01	2,85	0,06	0,05	0,01	7,58	0,17	0,10	0,02	4,23	0,09	0,06	0,01				
7	2,33	0,06	0,03	0,01	1,09	0,02	0,01	0,00	1,31	0,03	0,01	0,01	1,86	0,04	0,02	0,01	1,35	0,03	0,02	0,00				
8	0,04	0,00	0,00	0,00	0,40	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00				
9	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00				
10	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00				
11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00				
12	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00				
13	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00				
14	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00				
	SST.	0,48			SST.	0,29			SST.	0,39			SST.	0,38			SS T.	0,38						
	Hbs (%)	3,89			Hbs (%)	4,43			Hbs (%)	2,59			Hbs (%)	3,80			Hbs (%)	4,50						
	SST. (%)	96,10			SST. (%)	95,57			SST. (%)	97,4 1			SST. (%)	96,20			SS T. (%)	95,5 5						
	Área (m2)	0,0021																						

T11 (0.12,-15°C, 20h)					T12 (1.65,-15°C, 20h)				T13 (0.002,-20°C,20h)				T14 (0.12,-20°C, 20H)			T15 (1.65,-20°C, 20h)					
T(h )	Hbs1 1 (kg H20/ kgss)	Hbs11	X medi a	R (Kg/hm2 )	Hbs1 2 (kg H20/ kgss)	Hbs12	X media	R (Kg/hm2 )	Hbs1 3 (kg H20/ kgss)	Hbs13	X media	R (Kg/ hm2 )	Hbs1 4 (kg H20/ kgss)	Hbs14	X media	R (Kg/hm2 )	Hbs1 5 (kg H20/ kgss)	Hbs1 5	X medi a	R (Kg/ hm2 )	
0	36,46	1,00	0,95	0,04	61,78	1,00	0,97	0,02	45,45	1,00	0,96	0,04	45,78	1,00	0,95	0,03	46,03	1,00	0,96	0,02	
0,5	32,50	0,89	0,85	0,03	57,94	0,94	0,87	0,04	41,86	0,92	0,87	0,06	41,62	0,91	0,85	0,04	42,64	0,93	0,86	0,04	
1	29,59	0,81	0,78	0,02	49,22	0,80	0,74	0,03	36,98	0,81	0,75	0,07	36,16	0,79	0,71	0,06	36,10	0,78	0,74	0,03	
1,5	27,51	0,75	0,69	0,04	41,90	0,68	0,59	0,05	31,34	0,69	0,63	0,06	28,63	0,63	0,60	0,02	31,66	0,69	0,64	0,03	
2	23,14	0,63	0,57	0,02	31,09	0,50	0,46	0,01	26,20	0,58	0,47	0,06	26,55	0,58	0,54	0,01	27,48	0,60	0,51	0,02	
3	18,77	0,51	0,45	0,02	26,21	0,42	0,35	0,02	16,20	0,36	0,32	0,02	22,91	0,50	0,46	0,01	19,64	0,43	0,36	0,02	
4	14,19	0,39	0,32	0,02	17,14	0,28	0,22	0,01	13,12	0,29	0,23	0,03	19,53	0,43	0,36	0,02	13,89	0,30	0,25	0,02	
5	9,40	0,26	0,20	0,02	10,51	0,17	0,12	0,01	8,24	0,18	0,12	0,03	13,55	0,30	0,23	0,02	8,67	0,19	0,14	0,01	
6	5,03	0,14	0,10	0,01	4,58	0,07	0,05	0,01	2,85	0,06	0,05	0,01	7,58	0,17	0,10	0,02	4,23	0,09	0,06	0,01	
7	2,33	0,06	0,03	0,01	1,09	0,02	0,01	0,00	1,31	0,03	0,01	0,01	1,86	0,04	0,02	0,01	1,35	0,03	0,02	0,00	
8	0,04	0,00	0,00	0,00	0,40	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	
9	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	
10	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	
11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	
12	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	
13	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	
14	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	
		SST.	0,48				SST.	0,29				SST.	0,39				SST.	0,38			
		Hbs (%)	3,89				Hbs (%)	4,43				Hbs (%)	2,59				Hbs (%)	3,80			
		SST. (%) Área (m2)	96,10 0,0021				SST. (%)	95,57				SST. (%)	97,41				SST. (%)	96,20			

T(h)	T26 (0.12, -25°C, 24h)				T27 (1.65, -25°C, 24h)			
	Hbs26 (kg H2O/kgss)	Hbs26	X media	R (Kg/hm2)	Hbs27 (kg H2O/kgss)	Hbs27	X media	R (Kg/hm2)
0	36.48	1.00	0.95	0.04	30.52	1.00	0.94	0.03
0,5	32.52	0.89	0.85	0.03	26.67	0.87	0.83	0.02
1	29.19	0.80	0.76	0.03	24.04	0.79	0.75	0.02
1,5	26.28	0.72	0.64	0.06	21.76	0.71	0.68	0.02
2	20.66	0.57	0.51	0.02	19.49	0.64	0.61	0.01
3	16.28	0.45	0.39	0.02	17.56	0.58	0.54	0.01
4	12.53	0.34	0.31	0.01	15.64	0.51	0.45	0.02
5	10.04	0.28	0.23	0.02	12.13	0.40	0.30	0.03
6	6.91	0.19	0.13	0.02	6.18	0.20	0.15	0.01
7	2.75	0.08	0.04	0.01	3.20	0.10	0.08	0.01
8	0.04	0.00	0.00	0.00	1.80	0.06	0.03	0.01
9	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
11	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
13	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
14	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
SST.					SST.	0,57		
Hbs (%)					Hbs (%)	4,82		
SST.(%)					SST.(%)	95,2		

**Anexo 19. *Recolección de la materia prima.***



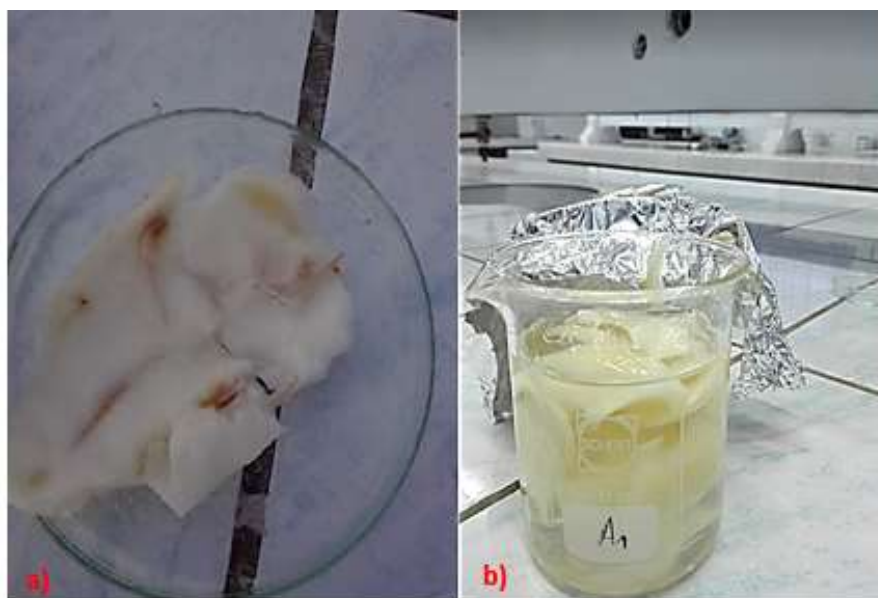


**Anexo 20.** *El fruto de cacao cortado longitudinalmente.*

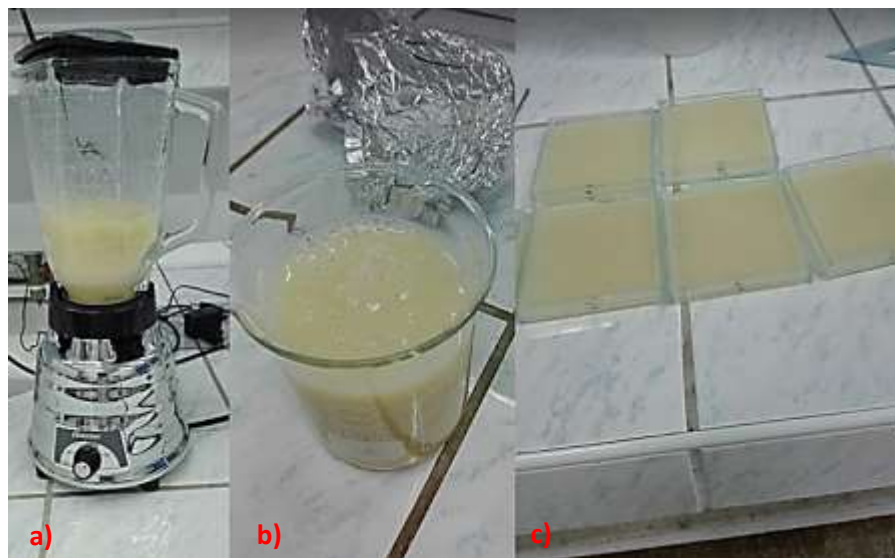


**Anexo 21.** *Pardeamiento enzimático de la pulpa del fruto del cacao.*



**Anexo 22. Pulpa de cacao con solución de bisulfito.**

a) Endocarpo de cacao sobre una placa b) Endocarpo de cacao en solución de bisulfito

**Anexo 23. Pulpeado y moldeado.**

a) Pulpeado b) Pulpa licuada c) Moldeado

### Anexo 24. Liofilizado de la pulpa de cacao.



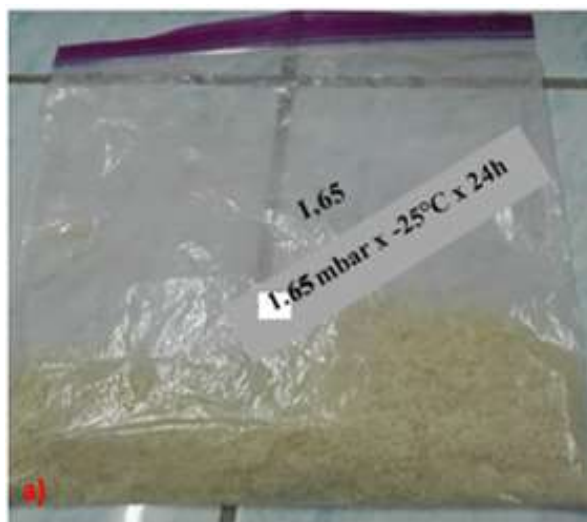
a) Vaso liofilizador b) Liofilización c) Muestras en las bandejas del liofilizador

### Anexo 25. Retiro de la muestra pasada las 14 horas de liofilizado.

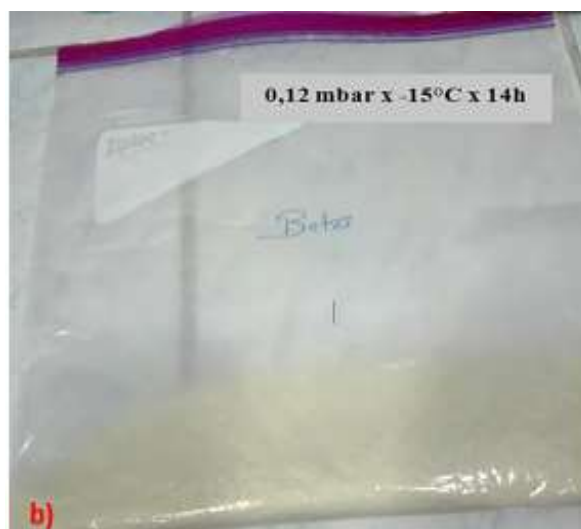


a) Retiro de la muestra liofilizada b) Liofilizado antes de ser triturado

**Anexo 26. Productos finales (Agente espesante).**



a) Tratamiento N°27



b) Tratamiento N°02



c) Tratamiento N°07

**Anexo 27. Agente espesante a base de pulpa de cacao en la elaboración de mazamorra morada.**



a) Cocción b) Resultado (Mazamorra morada)

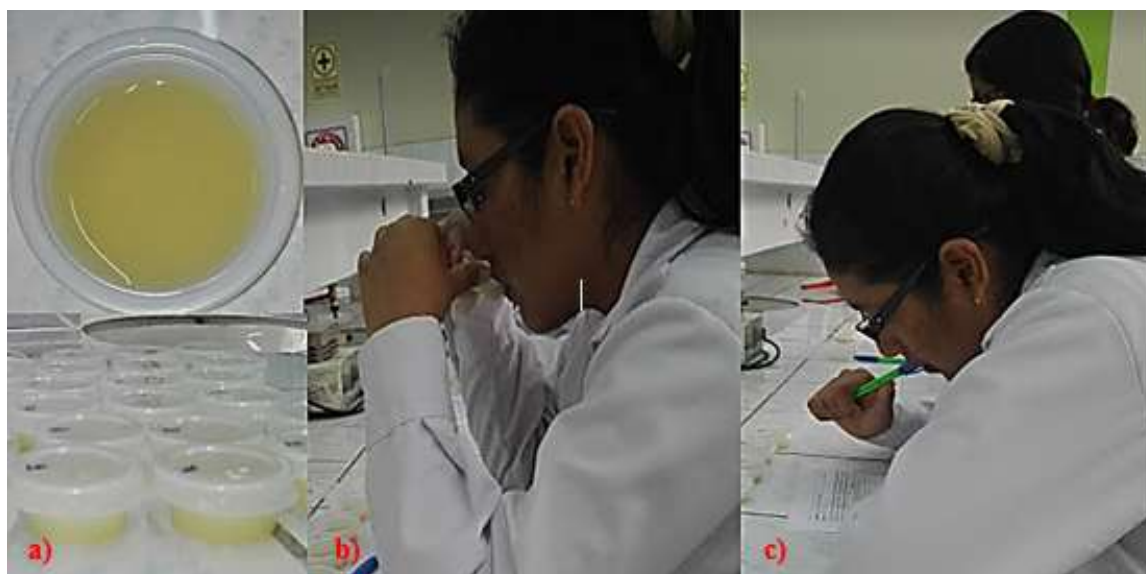
**Anexo 28. Agente espesante a base de la pulpa de cacao en la elaboración de néctar de cocona.**



a) Homogenizado b) Cocción



**Anexo 29. Evaluación sensorial del néctar de cocona.**



a) Néctar de cocona b) Juez semientrenado N°01 (Alicia) c) Evaluación, según su grado de aceptabilidad



a) Juez semientrenado N°0 2 (Yaqui) b) Juez semientrenado N°03 (Josué) c) Juez semientrenado N°04 (katy)

**Anexo 30. Análisis de Vitamina A en la muestra de pulpa de cacao.**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

Urb. Miraflores-Campus Universitario S/N- Castilla-Piura  
 Teléfonos: (073)-284700- (073)-285251  
 labocontrol@unp.edu.pe



**INFORME DE ENSAYO N° 120-2019**

SOLICITANTE	: BETZI EMPERATRIZ TOCTO CANO
DOMICILIO LEGAL	: PIURA
PRODUCTO DECLARADO	: <b>Pulpa de cacao (<i>Theobroma Cacao</i> L.)</b>
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	: Centro poblado Zapote, Distrito Yanfalo, provincia Moyobamba
MUESTREO	: Realizado por el solicitante/ Muestra alcanzada al laboratorio
CANTIDAD DE MUESTRA	: 05 muestras x 700 g c/u
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA	: Caja de cartón
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: En buen estado a temperatura ambiente
ENSAYOS REALIZADOS EN	: Laboratorio de ensayos instrumentales
FECHA DE RECEPCIÓN	: 13-08-2019
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO	: 13-08-2019
FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO	: 16-08-2019

**I. ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS**

PARÁMETRO	RESULTADOS
Vitamina A (µg/100g)	1.50

**II. METODOS**

Vitamina A: AOAC 2001.13, c45, 21st Ed, Determination of Vitamin A (Retinol) in Foods, Liquid Chromatography

Piura, 16 de agosto del 2019





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA**  
**LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD**

**ING. HUALTER LEYTON MABIAS B.Sc.**  
 2019  
**CIP 22860**

Página 1 | 1